TÚNELES

ANEJO 11

INDICE

1. INTRODUCCIÓN

El presente Anejo, incluido dentro del ESTUDIO INFORMATIVO DEL PROYECTO DE LA LÍNEA DE ALTA VELOCIDAD PALENCIA – ALAR DEL REY, tiene por objeto analizar los túneles definidos en las distintas alternativas que se describirán a continuación.

De los dos ámbitos en los que se divide todo el trazado, sólo existen túneles en el ámbito final, donde se ubican las conexiones estudiadas.

Se han definido tres posibles conexiones que se describirán en el siguiente apartado:

- Conexión en Nogales
- Conexión en Santa María de Mave
- Conexión en Aguilar de Campoo

En las siguientes figuras se muestra la zona de actuación del presente estudio.



NORMATIVA

La normativa específica de aplicación para la realización del presente anejo es la siguiente:

- Norma ADIF Plataforma Túneles, NAP 2-3-1.0. Edición Julio 2015.
- Reglamento (UE) nº 1303/2014 de la Comisión del 18 de noviembre de 2014, Especificación Técnica de Interoperabilidad relativa a la “Seguridad en los túneles ferroviarios” del sistema ferroviario de la Unión Europea.
- Ficha UIC 779-11 en fase de prediseño.

2. DESCRIPCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

El presente Estudio Informativo incluye los siguientes ámbitos:

- **Ámbito Central (0+000- 65+000)**
  - Alternativa Monzón-Oeste: no presenta túneles
  - Alternativa Carrión-Este : no presenta túneles
- **Ámbito de Alar del Rey – Aguilar de Campoo (65+000 – Final):** En este ámbito se distinguen tres finales de línea:
  - **Aguilar de Campoo**: dos conexiones posibles: Aguilar Este y Aguilar Oeste.
  - **Santa María de Mave**: dos conexiones posibles, Mave Este y Mave Oeste.
  - **Nogales**: una conexión. No presenta túneles.

Todos los túneles presentes se ubican en las conexiones que tienen como final de trazado Santa María de Mave o Aguilar de Campoo, de forma que la conexión de Nogales no presenta ningún túnel en su traza.

Los túneles presentes en las alternativas con final en Santa María de Mave poseen una configuración de túnel monotubo de vía única y velocidad V= 350 km/h.

En el caso de los túneles presentes en las alternativas con final en Aguilar de Campoo su configuración es de túnel monotubo de vía doble y velocidad V= 350 km/h.

2.1. CONEXIÓN AGUILAR OESTE

2.1.1. Estructura de la traza

El primer túnel (1.1) que nos encontramos en esta alternativa es el ubicado en el pk 80+850 hasta el 82+500, con una longitud total de 1650m, el más largo de todo este trazado. A continuación la traza discurre en viaducto para salvar un valle tras el cual de nuevo se atraviesa un macizo rocoso denominado Casasanta con un segundo túnel (1.2) entre los pks 83+085 a 83+435, lo que confieren al túnel una longitud de 350m.

Tras el siguiente valle nos encontramos de nuevo con un macizo llamado Cuesta La Cera que se atraviesa en su parte occidental con un túnel (1.3) de 140 m entre el pk 83+885 a 84+025. Cuando la traza sale a superficie salva mediante un pequeño viaducto el arroyo de La Costana y la carretera PP-2232 para adentrarse de nuevo en un túnel (1.4) de 80 m entre los pk 84+245 a 84+325 bajo la parte sur del Cerro de Badriján. Superado el túnel se ejecuta un desmonte de aproximadamente 250 m que conduce al paraje de Cildá. Este paraje se atravesará con un túnel (1.5) de 280 m de longitud que comenzará en el pk 84+595 hasta el 84+875.

Tras recorrer un valle de más de 1 km de largo, el paraje de Montecillo se atravesará con un túnel (1.6) de 580 m entre los pk 86+130 a 86+710.

A partir de aquí, tras salir a superficie, el trazado se acerca al ZEC de Las Tuerces en su parte occidental, sin llegar a afectar el área protegida. Esta zona se atraviesa con el segundo túnel (1.7) más largo de todo el corredor, de 1620 m de longitud ubicado entre los pk 88+250 a 89+870.

Una vez en superficie, y tras una curva a la derecha y contra curva a la izquierda, el trazado finaliza en una recta con orientación norte, que desemboca en la estación de Aguilar de Campo.

Todos los túneles de esta alternativa se han proyectado para túnel monotubo de vía doble. A continuación se incluye un resumen de los túneles presentes en esta alternativa.

		PK INICIO	PK FIN	LONGITUD (m)	SECCIÓN (m²)
AGUILAR OESTE	1.1	80+850	82+500	1+650	120
	1.2	83+085	83+435	+350	85
	1.3	83+885	84+025	+140	85
	1.4	84+245	84+325	+80	85
	1.5	84+595	84+875	+280	85
	1.6	86+130	86+710	+580	85
	1.7	88+250	89+870	1+620	120

Tabla 1. Tramificación de túneles en Conexión Aguilar de Campoo Oeste.

2.1.2. Recorrido geológico-geotécnico

TÚNEL 1.1 (80+850 – 82+500) ⇒ 1650 M

El inicio del túnel 1.1 (80+850) se realiza en la unidad M1, formada por brechas y conglomerados de la facies Alar del Rey. La excavación del túnel discurre por esta unidad durante aproximadamente 100 m hasta el p.k. 80+950 donde discurre por la unidad C8 formada por calizas, dolomías y biocalcarenitas. Transcurridos unos 225m nos encontramos con un sistema de dos fallas (81+175), separadas entre sí unos 230 metros y entre medio de las cuales se presupone que el túnel sigue discurriendo por C8 hasta el P.K. 81+415 donde aparece la unidad C7 formada por margas y margocalizas. Una vez atravesada la segunda falla, el túnel continúa por C7 hasta el P.K. 82+180 aproximadamente, donde se introduce en la unidad C6 durante unos 210 m. C6 está formado por calizas y junto con la unidad C8 constituyen los resaltes topográficos de las mesas existentes en la zona de estudio, lo cual da idea de la competencia de estas formaciones. Transcurridos esos metros la excavación continúa por C5 hasta el final ubicado en el P.K. 82+500. La unidad C5 está formada por areniscas, margas y calizas.

Todas las unidades calizas pueden presentar en mayor o menor grado un sistema de karstificación que, unido a la presencia de acuíferos, podría generar un riesgo durante la ejecución del túnel.

Entre los P.K. 81+175 y 81+405 encontramos dos fallas que atraviesan las unidades C8 y C7. Se sabe que la unidad C8 está muy karstificada, y, en el caso en el que contenga un acuífero importante, cabe la posibilidad de que el agua circule a través de las fallas de forma que al ser intersectadas por el túnel, provoquen un efecto sumidero y la consiguiente descarga del acuífero.

Este acuífero parece que tiene un carácter estacional tal y como se observa en la Cascada del Murciélago ubicada en la proximidad de la traza, que muestra descarga de agua solo durante algunos meses del año. Esta cascada podría verse afectada si se afecta al acuífero de la unidad C8.

La zona de fallas debería ser estudiada en fases posteriores mediante la ejecución de sondeos que permitan determinar la presencia de agua y el contacto entre las unidades C7 y C8. Se considera que la unidad C7 es bastante menos impermeable que la unidad C8, y no se prevé que contenga un acuífero, a no ser que se encuentre muy tectonizada y presente fracturación a través de la cual exista un sistema de circulación de agua.

Para más detalles de consideraciones hidrogeológicas consultar el apartado 3.6 de "Hidrogeología de túneles" del anejo de Geología y Geotecnia.

La máxima montera presente en el túnel es de casi 80m. Se prevé que la excavabilidad de las unidades de calizas C8 y C6 sea mediante voladura, mientras que en resto se podrán usar medios mecánicos.

Por otro lado, y debido a que el túnel presenta una longitud mayor de un kilómetro, se ha previsto la ejecución de una galería de evacuación que parte del emboquille de entrada y discurre paralelo al túnel principal hasta el pk 81+550.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
1.1	80+850	82+500	1.650,00	120	M1	80+850	80+950	100,00
					C8	80+950	81+175	225,00
					FALLA (*) C8	81+175	81+185	10,00
					C8	81+185	81+305	120,00
					C7	81+305	81+405	100,00
					FALLA (*) C7	81+405	81+415	10,00
					C7	81+415	82+180	765,00
					C6	82+180	82+390	210,00
					C5	82+390	82+500	110,00

FALLA (*) *Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*

TÚNEL 1.2 (83+085 – 83+435) ⇒ 350 M

El túnel 1.2 presenta una montera máxima de 86 metros. El emboquille sur se realiza en la formación cretácica C5 (pk 83+085), a través de la cual discurre el túnel durante aproximadamente 250 metros. A partir de aquí aparece la unidad de arcillas y yesos del Keuper con un espesor aproximado de 20 metros, a través de un cabalgamiento ubicado en el p.k. 83+335 que pone en contacto ambas litologías. Atravesada la unidad, a partir del p.k. 83+355 el túnel continúa por la unidad jurásica J1 (calizas, dolomías y carniolas) hasta el emboquille final en el pk 83+435.

Todos los materiales presentes en esta zona están muy tectonizados al situarse cerca del cabalgamiento del surco Navarro – Cántabro con la Cuenca del Duero.

Será conveniente la aplicación de sostenimientos muy reforzados en la zona del cabalgamiento, así como sostenimientos pesados en la formación del Keuper, aunque tras una visita a la zona se pudo comprobar que las arcillas y yesos no presentaban una disgregación elevada. También deberá tenerse en cuenta la utilización de hormigones sulforresistentes debido a la presencia de yesos en esta unidad.

La unidad J1 puede presentar karstificación intensa, y la posible presencia de agua en esta formación tendrá que cotejarse en fases posteriores con campañas de sondeos hidrogeológicos sobre el eje de la traza. Para más detalles de consideraciones hidrogeológicas consultar el apartado 3.6 de "Hidrogeología de túneles" del anejo de Geología y Geotecnia.

Se prevé que la excavación de todas las unidades se efectúe mediante medios mecánicos y mediante voladura en el caso de la caliza jurásica J1.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
1.2	83+085	83+435	350,00	85	C5	83+085	83+335	250,00
					FALLA (*) K	83+335	83+345	10,00
					K	83+345	83+355	10,00
					J1	83+355	83+435	80,00

FALLA (*) *Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*

TÚNEL 1.3 (83+885 – 84+025) ⇒ 140 M

El túnel presenta una cobertera máxima de aproximadamente 29 metros y discurre en toda su longitud a través de los materiales jurásicos de la formación J1, constituida por calizas y dolomías. Como se ha comentado anteriormente, esta unidad puede presentar karstificación con oquedades rellenas de arcilla.

Se prevé que la excavación sea mediante voladura, aunque en algunos tramos de carniolas (dolomías oquerosas), probablemente se puedan usar medios mecánicos únicamente. Los sostenimientos previstos serán de tipo ligero.

No es muy probable la presencia de agua debido a la proximidad de la zona de descarga de esta unidad, lo que hace que el nivel sea más bien bajo. Una descripción más detallada de la hidrogeología puede consultarse en el apartado 3.6.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
1.3	83+885	84+025	140,00	85	J1	83+885	84+025	140,00

TÚNEL 1.4 (84+245 – 84+325) ⇒ 80 M

Este túnel presenta una cobertera máxima de unos 23 metros, y a pesar de su escasa longitud, se encuentra afectado por las unidades de calizas jurásicas J1 y J2. La formación J2 presenta unas buenas características geomecánicas, aunque al igual que se mencionó para el túnel anterior, puede estar intensamente karstificada y muy tectonizada.

La excavabilidad podrá ser mediante medios mecánicos, aunque no se descarta el uso de voladura en aquellos tramos del macizo rocoso que estén menos tectonizados. Debido a la naturaleza de la roca, se ha previsto emplear sostenimientos ligeros.

Desde el punto de vista hidrogeológico, es poco probable la presencia de agua debido a la proximidad de la zona de descarga, al igual que ocurría en el túnel 1.3, aunque deberá ser cotejado en una fase posterior mediante un estudio hidrogeológico adecuado. Para más detalles consultar el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
1.4	84+245	84+325	80,00	85	J1	84+245	84+300	55,00
					J2	84+300	84+325	25,00

TÚNEL 1.5 (84+595 – 84+875) ⇒ 280 M

El túnel 1.5 presenta una montera máxima de 42 metros. Atraviesa materiales jurásicos de las formaciones J4 y J5, formando alternancias de calizas, margas y lutitas. El túnel presenta dos cabalgamientos próximos a los emboquilles, lo cual hace presuponer que los materiales estarán fuertemente tectonizados.

El emboquille inicial se encuentra en el pk 84+595, y el cabalgamiento, aunque no afecta directamente al túnel, se encuentra muy próximo (84+580 aproximadamente). El segundo cabalgamiento sí afecta al túnel (p.k. 84+835) y se encuentra cerca del emboquille de salida (p.k. 84+875).

Los sostenimientos previstos excepto en las zonas de cabalgamientos, serán de tipo ligero. En las zonas de falla, será necesario aplicar sostenimientos muy pesados y avances cortos. La excavación se prevé que sea con medios mecánicos, y voladura en la roca menos fracturada.

La permeabilidad de las unidades presentes es baja, aunque no se descarta la presencia de un acuitardo en su interior. Una descripción más detallada de la hidrogeología puede consultarse en el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
1.5	84+595	84+875	280,00	85	J4	84+595	84+835	240,00
					FALLA (*) J5	84+835	84+845	10,00
					J5	84+845	84+875	30,00

FALLA (*) *Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*

TÚNEL 1.6 (86+130 – 86+710) ⇒ 580 M

El túnel presenta una montera máxima de aproximadamente 42 metros, y discurre en casi toda su longitud a través de la formación C3 formada por conglomerados y areniscas. Esta unidad pertenece al flanco de una estructura anticlinal, moderadamente tectonizada y atravesada por una falla inversa en su parte central, a favor de la cual afloran los materiales de la unidad J5 (lutitas y calizas) que serán atravesados por el túnel durante una longitud aproximada de 50 metros.

Se trata de un cerro muy alto y cuya zona de descarga está más lejana, lo cual aumenta la probabilidad de encontrar agua. Esto deberá ser cotejado en una fase posterior mediante un estudio hidrogeológico adecuado. Para más detalles consultar el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

La presencia de la unidad heterogénea C3 y de la zona de falla, hace necesario que se requiera el uso de sostenimientos pesados y avances cortos.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
1.6	86+130	86+710	580,00	85	C3	86+130	86+355	225,00
					FALLA (*) J5	86+355	86+365	10,00
					J5	86+365	86+407	42,00
					C3	86+407	86+710	303,00

FALLA (*) *Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*

TÚNEL 1.7 (88+250 – 89+870) ⇒ 1620 M

El túnel presenta en su tercio inicial el mayor espesor de cobertera, en torno a los 60 m, que posteriormente va atenuándose hasta el emboquille final. Se sitúa bajo el extremo occidental de la estructura sinclinal que configura el paraje del Monte Cildá.

Los materiales afectados son, por un lado la unidad C4 formada por conglomerados y areniscas de la facies de Utrillas (desde el emboquille sur p.k. 88+250 hasta el p.k. 88+850), y la unidad C5 formada por margas, calizas, calcarenitas y calizas margosas, en el resto del túnel.

Las arenas de Utrillas en otras zonas presentan una configuración de suelo, totalmente disgregada, pero en esta zona se presentan con un grado de cementación bastante aceptable para ser excavadas con medios mecánicos. Los sostenimientos previstos son de tipo ligero, aunque la presencia de zonas más alteradas obligará a emplear sostenimientos algo más pesados y con avances de excavación más cortos.

La unidad C5 es en general una roca blanda a media, y, en base a los datos disponibles, se estima que tendrá una durabilidad baja. La excavabilidad será en principio fácil, al igual que la unidad C4. Dado el bajo buzamiento de las capas, podría darse algún problema de caída de techo plano.

Hay que destacar la presencia en esta zona de niveles de lignito que podría conllevar el riesgo de explosión por inflamación.

Es probable que el drenaje natural de esta zona se produzca en el Río Pisuerga, en la parta más baja de la estructura, pero la presencia o ausencia de algún nivel freático a la cota prevista de ejecución del túnel deberá ser cotejada con un estudio hidrogeológico en detalle en fases posteriores. Para más consideraciones hidrogeológicas ver el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

Puesto que el túnel presenta una longitud superior a los 1000m, se ha previsto la ejecución de una galería vehicular de conexión con el exterior. La galería discurre por la ladera occidental de la montaña hasta salir a superficie en un apartadero de la autopista A-67, con espacio suficiente

para albergar una zona de seguridad de al menos 500 m². La longitud de galería es de aproximadamente 600m.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
1.7	88+250	89+870	1.620,00	120	**C4**	88+250	88+850	600,00
					C5	88+850	89+870	1.020,00

2.2. CONEXIÓN MAVE OESTE

2.2.1. Estructura de la traza

La conexión de Aguilar Oeste y la conexión de Mave Oeste inician su separación, aproximadamente, en torno al pk 79+000. Desde este punto ambas trazas discurren paralelas a lo largo del primer túnel (2.1), que en el caso de la conexión en Mave Oeste se inicia en el pk 80+830 y acaba en el 82+520, lo que le confiere una longitud total de 1.690 m.

Tras salir a superficie, la alternativa de Mave Oeste inicia una curva hacia la derecha para atravesar el mismo macizo rocoso de Casasanta que en la alternativa de Aguilar Oeste, pero más al sur, de forma que el segundo túnel que se ejecutará (2.2) tendrá una longitud total de 900 m ubicado ente los pk 83+000 a 83+900.

A partir de aquí, y ya en superficie, el trazado realiza una nueva contra curva hacia la izquierda y termina uniéndose a la vía existente en el pueblo de Santa María de Mave.

Todos los túneles de esta alternativa se han proyectado para túnel monotubo de vía única. En la siguiente tabla se incluye un resumen de los túneles presentes en esta alternativa.

		PK INICIO	PK FIN	LONGITUD (m)	SECCIÓN (m²)
MAVE OESTE	**2.1**	80+830	82+520	1+690	52
	2.2	83+000	83+900	+900	52

Tabla 2. Tramificación de túneles en Conexión Mave Oeste.

2.2.2. Recorrido geológico-geotécnico

TÚNEL 2.1 (80+830 – 82+520) ⇒ 1690 M

Tal y como se ha comentado anteriormente, el primer túnel de la conexión en Mave Oeste (2.1) discurre paralelo y muy próximo al primer túnel de la Conexión de Aguilar Oeste (1.1), por lo que su descripción es la misma que la realizada en el apartado anterior, a excepción de los p.k. de inicio y fin.

El inicio del túnel 2.1 (80+830) se realiza en la unidad M1, formada por brechas y conglomerados de la facies Alar del Rey. La excavación del túnel discurre por esta unidad durante aproximadamente 130 m hasta el p.k. 80+960 donde discurre por la unidad C8 formada por calizas, dolomías y biocalcarenitas. Transcurridos unos 170m nos encontramos con un sistema de dos fallas (81+132), separadas entre sí unos 220 metros y entre medio de las cuales se presupone que el túnel sigue discurriendo por C8 hasta el P.K. 81+362 donde aparece la unidad C7 formada por margas y margocalizas. Una vez atravesada la segunda falla, el túnel continúa por C7 hasta el P.K. 81+600 aproximadamente, donde se introduce en la unidad C6 durante unos 545m. C6 está formado por calizas y junto con la unidad C8 constituyen los resaltes topográficos de las mesas existentes en la zona de estudio, lo cual da idea de la competencia de estas formaciones. Transcurridos esos metros la excavación continúa por C5 hasta el final ubicado en el P.K. 82+520. La unidad C5 está formada por areniscas, margas y calizas.

Todas las unidades calizas pueden presentar en mayor o menor grado un sistema de karstificación que, unido a la presencia de acuíferos, podría generar un riesgo durante la ejecución del túnel.

Entre los P.K. 81+132 y 81+352 encontramos dos fallas que atraviesan las unidades C8 y C7. Se sabe que la unidad C8 está muy karstificada, y, en el caso en el que contenga un acuífero importante, cabe la posibilidad de que el agua circule a través de las fallas de forma que al ser intersectadas por el túnel, provoquen un efecto sumidero y la consiguiente descarga del acuífero.

Este acuífero parece que tiene un carácter estacional tal y como se observa en la Cascada del Murciélago ubicada en la proximidad de la traza, que muestra descarga de agua solo durante algunos meses del año. Esta cascada podría verse afectada si se afecta al acuífero de la unidad C8.

La zona de fallas debería ser estudiada en fases posteriores mediante la ejecución de sondeos que permitan determinar la presencia de agua y el contacto entre las unidades C7 y C8. Se considera que la unidad C7 es bastante menos impermeable que la unidad C8, y no se considera que contenga un acuífero, a no ser que se encuentre muy tectonizada y presente fracturación a través de la cual exista un sistema de circulación de agua.

Para más detalles de consideraciones hidrogeológicas consultar el apartado 3.6 de “Hidrogeología de túneles” del anejo de Geología y Geotecnia.

La máxima montera presente en el túnel es de casi 80m. Se prevé que la excavabilidad de las unidades de calizas C8 y C6 sea mediante voladura, mientras que en resto se podrán usar medios mecánicos. Se ha previsto la utilización de sostenimientos ligeros excepto en las zonas de falla en los que deberán emplearse sostenimientos pesados y avances cortos de excavación.

Por otro lado, y debido a que el túnel presenta una longitud mayor de un kilómetro, se ha previsto la ejecución de una galería de evacuación que parte del emboquille de entrada y discurre paralelo al túnel principal hasta el pk 81+550.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
2.1	80+830	82+520	1.690,00	52	M1	80+830	80+960	130,00
					C8	80+960	81+132	172,00
					FALLA (*) C8	81+132	81+142	10,00
					C8	81+142	81+285	143,00
					C7	81+285	81+352	67,00
					FALLA (*) C7	81+352	81+362	10,00
					C7	81+362	81+800	438,00
					C6	81+800	82+345	545,00
					C5	82+345	82+520	175,00

FALLA (*) *Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*

TÚNEL 2.2 (83+000 – 83+900) ⇒ 900 M

El túnel 2.2 inicia su recorrido en el p.k. 83+000, tiene una longitud de 900. Este túnel es similar al túnel 1.2, ya que presenta desde el inicio hasta la parte central las mismas unidades con la misma estructura. Estas son un emboquille en la unidad C5 formada por margas, calizas, calcarenitas y calizas margosas que se extenderán a lo largo de 150 m, para a continuación adentrarse en la unidad C6 formada por calizas, durante unos 160 metros adicionales. En el p.k. 83+310 aparece un cabalgamiento que hace aflorar las arcillas y yesos del Keuper (K) que en esta zona presenta una potencia aproximada de 25 m. A continuación aparecen las calizas jurásicas de la formación J1 con un espesor aproximado de 165 m.

En el p.k. 83+500 aparece un nuevo cabalgamiento que hace que la secuencia se repita, aflorando de nuevo las arcillas del Keuper, las calizas de la unidad J1 y a continuación, las unidades J2 y J3 formadas por calizas y margas. El emboquille final se realiza en la formación J3 en el p.k. 83+900.

En la zona de los cabalgamientos ese previsible que los materiales estén fuertemente tectonizados, de forma que será conveniente la aplicación de sostenimientos muy reforzados. En la formación del Keuper también se emplearán sostenimientos pesados, aunque tras una visita a la zona se pudo comprobar que las arcillas y yesos no presentaban una disgregación elevada. También deberá tenerse en cuenta la utilización de hormigones sulforresistentes debido a la presencia de yesos en esta unidad.

Los materiales jurásicos parecen estar muy fracturados, lo cual aumenta su permeabilidad, pudiendo existir además aportes de agua, sobre todo teniendo en cuenta que en las proximidades se ha localizado una fuente a la cota 930 a la altura del pk. 83+250. Una descripción más detallada de la hidrogeología puede consultarse en el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

Se prevé que la excavación de todas las unidades se efectúe mediante medios mecánicos y voladura en el caso de la caliza jurásica J1.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
2.2	83+000	83+900	900,00	52	C5	83+000	83+150	150,00
					C6	83+150	83+310	160,00
					FALLA (*) K	83+310	83+320	10,00
					K	83+320	83+335	15,00
					J1	83+335	83+500	165,00
					FALLA (*) K	83+500	83+510	10,00
					K	83+510	83+527	17,00
					J1	83+527	83+755	228,00
					J2	83+755	83+845	90,00
					J3	83+845	83+900	55,00

FALLA (*) *Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*

2.3. CONEXIÓN AGUILAR ESTE

2.3.1. Estructura de la traza

El primer túnel (3.1) que nos encontramos en esta alternativa es el ubicado en el pk 79+915 hasta el 81+845, con una longitud total de 1930m, el más largo de todas las alternativas estudiadas. A continuación y tras discurrir en superficie aproximadamente un kilómetro, aparece un nuevo túnel (3.2), en esta ocasión uno de los más cortos de todos los estudiados, con 90 m de longitud, y que atraviesa el cerro de Los Castros.

Tras un nuevo recorrido en superficie de aproximadamente más de 600 m, el túnel 3.3 aparece en el p.k.83+545 para atravesar el cerro de “Cuesta la Cera” durante 450 metros. El siguiente valle que aparece a continuación se salva mediante un viaducto de unos 280 m de longitud para de nuevo adentrarse bajo la parte occidental del cerro de Sotazoncillo en un túnel (3.4) de 360 metros de largo.

A partir de aquí la traza va aproximándose al trazado proyectado en la alternativa de Aguilar Oeste, hasta que se unen un poco más adelante del p.k. 85+000, de forma que los dos siguientes

túneles presentes en la alternativa Aguilar Este son prácticamente idénticos que los proyectados en la alternativa Aguilar Oeste, con la única diferencia de presentar una rasante con una variación en torno a un metro en la vertical, y un desfase en los emboquilles en torno a 5 metros.

Así pues, tras recorrer un valle de más de 1 km de largo, el paraje de Montecillo se atravesará con un túnel (3.5) de 575 m entre los pk 86+130 a 86+705, prácticamente idéntico al túnel 1.6.

A partir de aquí, tras salir a superficie, el trazado se acerca al ZEC de Las Tuerces en su parte occidental, sin llegar a afectar el área protegida. Esta zona se atraviesa con el último túnel (3.6) de este trazado, de 1620 m de longitud ubicado entre los pk 88+245 a 89+865, prácticamente idéntico al túnel 1.7 de la alternativa de Aguilar Oeste.

Una vez en superficie, y tras una curva a la derecha y contra curva a la izquierda, el trazado finaliza en una recta con orientación norte, que desemboca en la estación de Aguilar de Campo.

Todos los túneles de esta alternativa se han proyectado para túnel monotubo de vía doble. En la siguiente tabla se incluye un resumen de los túneles presentes en esta alternativa.

		PK INICIO	PK FIN	LONGITUD (m)
AGUILAR ESTE	**3.1**	79+915	81+845	1+930
	3.2	82+749	82+839	+90
	3.3	83+545	83+995	+450
	3.4	84+435	84+795	+360
	3.5	86+130	86+705	+575
	3.6	88+245	89+865	1+620

2.3.2. Recorrido geológico-geotécnico

TÚNEL 3.1 (79+915 – 81+845) ⇒ 1930 M

El túnel 3.1 presenta su emboquille de entrada en el p.k. 79+915 y una montera máxima de unos 82 metros. Se trata del túnel más largo de todos los estudiados.

El túnel se adentra en los materiales de la unidad M1 formados por conglomerados y brechas durante aproximadamente 715 metros hasta que un cabalgamiento corta la unidad en el p.k. 80+630. A continuación aparecen las calizas de la unidad C8 que junto con la unidad C6 son las que generan los dos resaltos predominantes en la zona. C8 a lo largo del túnel presenta una potencia aproximada de 150m hasta el p.k. 80+795 donde afloran los materiales de la unidad C7 formados por margas y margocalizas a lo largo de unos 60 m. De nuevo la unidad se ve afectada por un cabalgamiento en torno al p.k. 80+855 que ocasiona que afloren materiales del cretácico de la unidad C5 formada por areniscas, calcarenitas, calizas y margas, hasta el emboquille final en el p.k. 81+845.

Los materiales se encuentran suavemente plegados, pero en las zonas de cabalgamientos es probable que estén fuertemente tectonizados y alterados, de forma que en ambas zonas será necesario emplear sostenimientos muy pesados y avances de excavación en pases cortos.

Los conglomerados de la unidad M1 son de tipo calcáreo y podrían estar karstificados, pudiendo constituir un acuífero libre. En cualquier caso se desconocen la cota de nivel freático que pudiera presentar dicha unidad, aunque no es previsible. Las unidades cretácicas pueden estar fracturadas y karstificadas, y en torno al p.k. 81+000 se han observado diversos sumideros kársticos. Una descripción más detallada de la hidrogeología puede consultarse en el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

En torno al p.k. 81+300 subyacente a la unidad C5 se encuentran las arenas de Utrillas de la formación C4. Se desconoce la cercanía de dicho contacto a la rasante del túnel, así que será un punto a estudiar con una futura campaña de sondeos. La aparición de las arenas podría provocar problemas de sifonamientos en caso de contener agua, así como el uso de sostenimientos pesados, incertidumbres que deberían ser resueltas en futuras fases de estudio.

La excavabilidad se prevé mediante métodos mecánicos.

Debido a la longitud del túnel, próxima a los 2 kilómetros, se han proyectado dos galerías de evacuación vehiculares con una longitud de aproximadamente 600 m que parten desde dos puntos del interior del túnel hacia ambos emboquilles, permitiendo que haya siempre una salida de evacuación a menos de 1000 metros de distancia. Las galerías vehiculares permitirían el acercamiento de los vehículos de emergencia hacia la parte intermedia del túnel en caso necesario.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m^2)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
3.1	79+915	81+845	1.930,00	120	**M1**	79+915	80+630	715,00
					FALLA (*) C8	80+630	80+640	10,00
					C8	80+640	80+795	155,00
					C7	80+795	80+855	60,00
					FALLA (*) C5	80+855	80+865	10,00
					C5	80+865	81+845	980,00

FALLA (*) *Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*

TÚNEL 3.2 (82+749 – 82+839) ⇒ 90 M

El túnel 3.2 atraviesa el cerro de Los Castros, posé una longitud total de 90 metros y presenta una montera máxima de 25 m.

El túnel atraviesa en toda su longitud los materiales calizos de la unidad C6. Debido a la naturaleza de estos materiales se prevé que sólo sea necesario emplear sostenimientos muy ligeros, y la excavación necesitará de voladura ya que el macizo rocoso es competente.

La permeabilidad de los materiales que forman la unidad C6 en el cerro de Los Castros es alta, ya que presenta procesos de karstificación. Verificar la existencia de un acuífero y la cota de su nivel freático es algo que deberá ser cotejado con un estudio hidrogeológico detallado en fases posteriores. Para más consideraciones hidrogeológicas puede consultarse el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m^2)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
3.2	82+749	82+839	90,00	85	**C6**	82+749	82+839	90,00

TÚNEL 3.3 (83+545 – 83+995) ⇒ 450 M

La cobertera máxima que presenta este túnel es de aproximadamente 25 metros, y su estructura es similar al túnel 1.4, aunque de mayor longitud. También está formado por los materiales jurásicos de las unidades J1 y J2 compuestos por calizas, dolomías y carniolas, y cuya separación se ubica en torno al p.k. 83+745.

La formación J2 presenta unas buenas características geomecánicas, aunque al igual que se mencionó para el túnel 1.4, puede estar intensamente karstificada y muy tectonizada.

La excavabilidad podrá ser mediante medios mecánicos, aunque no se descarta el uso de voladura en aquellos tramos del macizo rocoso que estén menos tectonizados. Debido a la naturaleza de la roca, se ha previsto emplear sostenimientos ligeros.

Desde el punto de vista hidrogeológico, es poco probable la presencia de agua debido a la proximidad de la zona de descarga, aunque deberá ser cotejado en una fase posterior mediante un estudio hidrogeológico adecuado. Para más detalles consultar el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m^2)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
3.3	83+545	83+995	450,00	85	**J1**	83+545	83+745	200,00
					J2	83+745	83+995	250,00

TÚNEL 3.4 (84+435 – 84+795) ⇒ 360 M

Este túnel presenta una cobertera máxima de aproximadamente 30 metros, y atraviesa en casi toda su longitud los materiales jurásicos de la formación J4 formada por calizas, margas y lutitas. El emboquille de salida se realiza sobre los conglomerados y areniscas de la unidad C3 que afloran solo en la parte final del túnel.

Este túnel presenta la característica de que en ambos emboquilles hay fallas inversas que los afectan, sobre todo en el de entrada ubicado en el p.k. 84+435. En esta zona se ubica un tren de fallas inversas que hace que los materiales se encuentren fuertemente alterados, lo cual añadido a la karstificación, puede producir aportes de agua al túnel en caso de que la formación esté saturada. Una descripción más detallada de la hidrogeología puede consultarse en el apartado 3.6.

La unidad J4 requerirá voladura para su excavación, mientras que la unidad C3 será excavable con medios mecánicos, ripable en los niveles más cementados. Tanto para los conglomerados, como para las zonas de falla se ha previsto emplear sostenimientos muy pesados que requerirán pases cortos de excavación. En el caso de las calizas, los sostenimientos que se han previsto son de tipo ligero. A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m^2)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
3.4	84+435	84+795	360,00	85	FALLA (**) J4	84+435	84+440	5,00
					J4	84+440	84+447	7,00
					FALLA (**) J4	84+447	84+452	5,00
					J4	84+452	84+457	5,00
					FALLA (**) J4	84+457	84+462	5,00
					J4	84+462	84+775	313,00
					FALLA (*) C3	84+775	84+785	10,00
					C3	84+785	84+795	10,00

FALLA (*)	*Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*
FALLA (**)	*Dada la proximidad de las fallas, se asume a cada una potencia, por defecto, de 5 m.*

TÚNEL 3.5 (86+130 – 86+705) ⇒ 575 M

El túnel 3.5 es prácticamente idéntico al túnel 1.6 descrito en la alternativa de Aguilar Este, excepto por un desfase de 5 metros en el emboquille y una variación escasa en la rasante, siendo por lo tanto la descripción de aquel, válida para este túnel.

El túnel presenta una montera máxima de aproximadamente 42 metros, y discurre en casi toda su longitud a través de la formación C3 formada por conglomerados y areniscas. Esta unidad pertenece al flanco de una estructura anticlinal, moderadamente tectonizada y atravesada por

una falla inversa en su parte central, a favor de la cual afloran los materiales de la unidad J5 (lutitas y calizas) que serán atravesados por el túnel durante una longitud aproximada de 50 metros.

Se trata de un cerro muy alto y cuya zona de descarga está más lejana, lo cual aumenta la probabilidad de encontrar agua. Esto deberá ser cotejado en una fase posterior mediante un estudio hidrogeológico adecuado. Para más detalles consultar el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

La presencia de la unidad heterogénea C3 y de la zona de falla, hace necesario que se requiera el uso de sostenimientos pesados y avances cortos.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
3.5 (= 1.6)	86+130	86+705	575,00	85	C3	86+130	86+355	225,00
					FALLA (*)	86+355	86+365	10,00
					J5	86+365	86+407	42,00
					C3	86+407	86+705	298,00

FALLA (*) *Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*

TÚNEL 3.6 (88+245 – 89+865) ⇒ 1620 M

El túnel 3.6 es prácticamente idéntico al túnel 1.7 descrito en la alternativa de Aguilar Este, excepto por un desfase de 5 metros en el emboquille y una variación escasa en la rasante, siendo por lo tanto la descripción de aquel, válida para este túnel.

El túnel presenta en su tercio inicial el mayor espesor de cobertera, en torno a los 60 m, que posteriormente va atenuándose hasta el emboquille final. Se sitúa bajo el extremo occidental de la estructura sinclinal que configura el paraje del Monte Cildá.

Los materiales afectados son, por un lado la unidad C4 formada por conglomerados y areniscas de la facies de Utrillas (desde el emboquille sur p.k. 88+245 hasta el p.k. 88+850), y la unidad C5 formada por margas, calizas, calcarenitas y calizas margosas, en el resto del túnel.

Las arenas de Utrillas en otras zonas presentan una configuración de suelo, totalmente disgregada, pero en esta zona se presentan con un grado de cementación bastante aceptable para ser excavadas con medios mecánicos. Los sostenimientos previstos son de tipo ligero, aunque la presencia de zonas más alteradas obligará a emplear sostenimientos algo más pesados y con avances de excavación más cortos.

La unidad C5 es en general una roca blanda a media, y, en base a los datos disponibles, se estima que tendrá una durabilidad baja. La excavabilidad será en principio fácil, al igual que la unidad C4. Dado el bajo buzamiento de las capas, podría darse algún problema de caída de techo plano.

Hay que destacar la presencia en esta zona de niveles de lignito que podría conllevar el riesgo de explosión por inflamación.

Es probable que el drenaje natural de esta zona se produzca en el Río Pisuerga, en la parta más baja de la estructura, pero la presencia o ausencia de algún nivel freático a la cota prevista de ejecución del túnel deberá ser cotejada con un estudio hidrogeológico en detalle en fases posteriores. Para más consideraciones hidrogeológicas ver el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

Puesto que el túnel presenta una longitud superior a los 1000m, se ha previsto la ejecución de una galería vehicular de conexión con el exterior. La galería discurre por la ladera occidental de la montaña hasta salir a superficie en un apartadero de la autopista A-67, con espacio suficiente para albergar una zona de seguridad de al menos 500 m². La longitud de galería es de aproximadamente 600m.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
3.6 (= 1.7)	88+245	89+865	1.620,00	120	C4	88+245	88+850	605,00
					C5	88+850	89+865	1.015,00

2.4. CONEXIÓN MAVE ESTE

2.4.1. *Estructura de la traza*

La conexión de Aguilar Este y la conexión de Mave Este inician su separación, aproximadamente, en torno al pk 79+000. Desde este punto ambas trazas discurren paralelas a lo largo del primer túnel (4.1), siendo éste y el túnel 3.1 similares en características litológicas y estructurales, con una diferencia de 35 metros menos en longitud. A continuación el trazado se separa de la alternativa Aguilar Este haciendo una curva hacia la derecha donde tras un tramo de aproximadamente un kilómetro donde se cruza en dos puntos sobre la nacional N-611, el trazado atraviesa un nuevo cerro a través del túnel 4.2 de 230 m de longitud y de características prácticamente idénticas al túnel 3.2, aunque de mayor longitud.

A partir de aquí, y ya en superficie, el trazado realiza una nueva contra curva hacia la izquierda y termina uniéndose a la vía existente en el pueblo de Santa María de Mave.

En la siguiente tabla se incluye un resumen de los túneles presentes en esta alternativa.

2.4.2. *Recorrido geológico-geotécnico*

TÚNEL 4.1 (79+915 – 81+810) ⇒ 1895 M

El túnel 4.1 presenta una montera máxima de unos 82 metros, se inicia en el pk 79+915 y acaba en el 81+810, lo que le confiere una longitud total de 1.895 m. Este túnel es casi paralelo y muy cercano al túnel 3.1 ya descrito en el apartado anterior, por lo que puede tomarse como válido lo ya expuesto en el apartado del túnel 3.1 y que se expone a continuación.

El túnel se adentra en los materiales de la unidad M1 formados por conglomerados y brechas durante aproximadamente 790 metros hasta que un cabalgamiento corta la unidad en el p.k. 80+708. A continuación aparecen las calizas de la unidad C8 que junto con la unidad C6 son las que generan los dos resaltos predominantes en la zona. C8 a lo largo del túnel presenta una potencia aproximada de 112m hasta el p.k. 80+830 donde afloran los materiales de la unidad C7 formados por margas y margocalizas a lo largo de unos 65 m. De nuevo la unidad se ve afectada por un cabalgamiento en torno al p.k. 80+895 que ocasiona que afloren materiales del cretácico de la unidad C5 formada por areniscas, calcarenitas, calizas y margas, hasta el emboquille final en el p.k. 81+810.

Los materiales se encuentran suavemente plegados, pero en las zonas de cabalgamientos es probable que estén fuertemente tectonizados y alterados, de forma que en ambas zonas será necesario emplear sostenimientos muy pesados y avances de excavación en pases cortos.

Los conglomerados de la unidad M1 son de tipo calcáreo y podrían estar karstificados, pudiendo constituir un acuífero libre. En cualquier caso se desconocen la cota de nivel freático que pudiera presentar dicha unidad, aunque no es previsible. Las unidades cretácicas pueden estar fracturadas y karstificadas, y en torno al p.k. 81+000 se han observado diversos sumideros kársticos. Una descripción más detallada de la hidrogeología puede consultarse en el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

En torno al p.k. 81+300 subyacente a la unidad C5 se encuentran las arenas de Utrillas de la formación C4. Se desconoce la cercanía de dicho contacto a la rasante del túnel, así que será un punto a estudiar con una futura campaña de sondeos. La aparición de las arenas podría provocar problemas de sifonamientos en caso de contener agua, así como el uso de sostenimientos pesados, incertidumbres que deberían ser resueltas en futuras fases de estudio.

La excavabilidad se prevé mediante métodos mecánicos.

Debido a la longitud del túnel, próxima a los 2 kilómetros, se han proyectado dos galerías de evacuación vehiculares con una longitud de aproximadamente 600 m que parten desde dos puntos del interior del túnel hacia ambos emboquilles, permitiendo que haya siempre una salida de evacuación a menos de 1000 metros de distancia. Las galerías vehiculares permitirían el acercamiento de los vehículos de emergencia hacia la parte intermedia del túnel en caso necesario.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
4.1	79+915	81+810	1.895,00	52	**M1**	79+915	80+708	793,00
					FALLA (*) C8	80+708	80+718	10,00
					C8	80+718	80+830	112,00
					C7	80+830	80+895	65,00
					FALLA (*) C5	80+895	80+905	10,00
					C5	80+905	81+810	905,00

FALLA (*) *Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*

TÚNEL 4.2 (82+740 – 82+970) ⇒ 230 M

Tal y como se ha comentado anteriormente, el túnel 4.2 es paralelo aunque de mayor longitud, al túnel 3.2, presentando las mismas características litológicas y estructurales, de forma que la descripción del túnel 3.2 puede considerarse válida igualmente para el túnel 4.2 y que a continuación se reproduce.

El túnel 4.2 atraviesa el cerro de Los Castros, posé una longitud total de 90 metros y presenta una montera máxima de 25 m.

El túnel atraviesa en toda su longitud los materiales calizos de la unidad C6. Debido a la naturaleza de estos materiales se prevé que sólo sea necesario emplear sostenimientos muy ligeros, y la excavación necesitará de voladura ya que el macizo rocoso es competente.

La permeabilidad de los materiales que forman la unidad C6 en el cerro de Los Castros es alta, ya que presenta procesos de karstificación. Verificar la existencia de un acuífero y la cota de su nivel freático es algo que deberá ser cotejado con un estudio hidrogeológico detallado en fases posteriores. Para más consideraciones hidrogeológicas puede consultarse el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia.

A continuación se muestra una tabla con las distintas unidades litológicas a atravesar:

TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	Sección (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)
4.2	82+740	82+970	230,00	52	**C6**	82+740	82+970	230,00

3. SECCIÓN TIPO

3.1. SECCIÓN LIBRE

La sección libre del túnel debe justificarse partiendo de las condiciones de salud y confort según criterios aerodinámicos, de la configuración de vía única y vía doble, y de la velocidad máxima de circulación admisible según la geometría de trazado. La velocidad máxima admisible para este proyecto es de 350 km/h. Según la ficha UIC 779-11 empleada para esta fase de prediseño, se ha calculado la sección mínima de todos los túneles de vía doble de más de un kilómetro, presentando una sección de 120 m². El resto de túneles de vía doble y de longitud inferior a 1000 m presentan secciones tipo por debajo de los 85 m², pero siguiendo el criterio de la Norma NAP 2-3-1.0. Edición Julio 2015, se ha empleado la recomendación de una sección de 85 m² para los túneles excavados por métodos convencionales, y se ha unificado para todos ellos con la consideración técnico-económica de utilizar el menor número posible de secciones distintas en los túneles de un mismo sub-tramo.

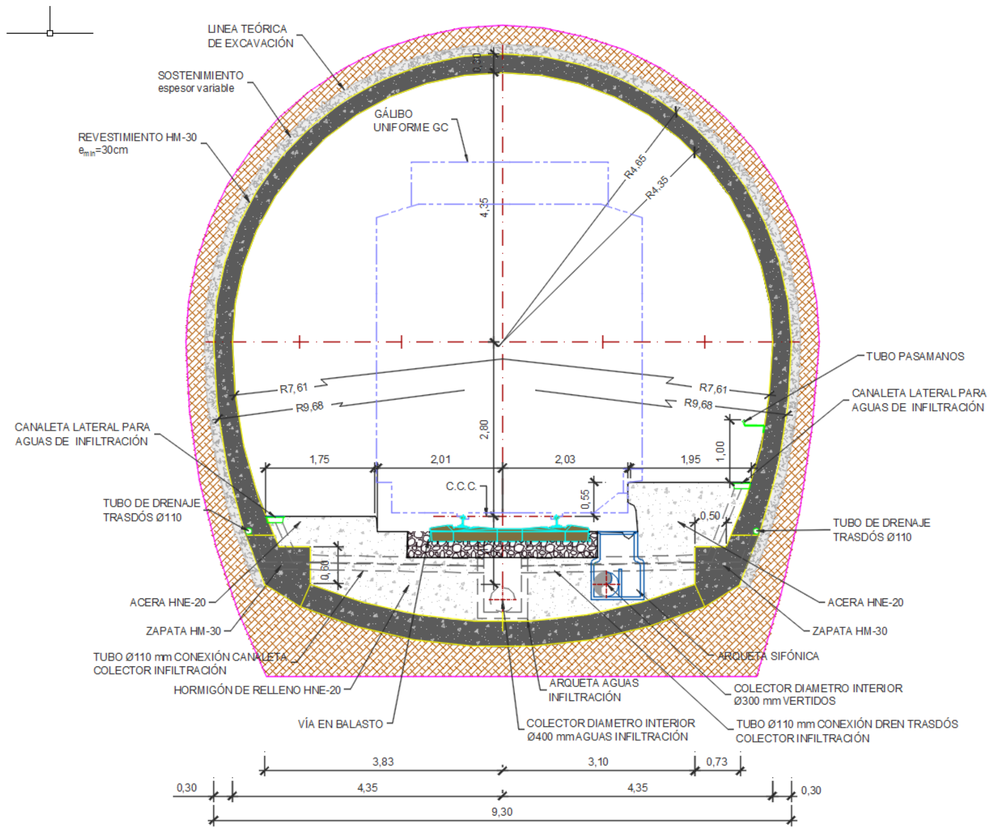
Para el caso de los túneles de vía única, atendiendo a la norma NAP 2-3-1.0 de ADIF, se adopta como sección libre la mínima recomendada en dicha norma para este tipo de túneles: 52 m².

En fases posteriores se realizará un cálculo más exhaustivo con software especializado para obtener secciones más precisas.

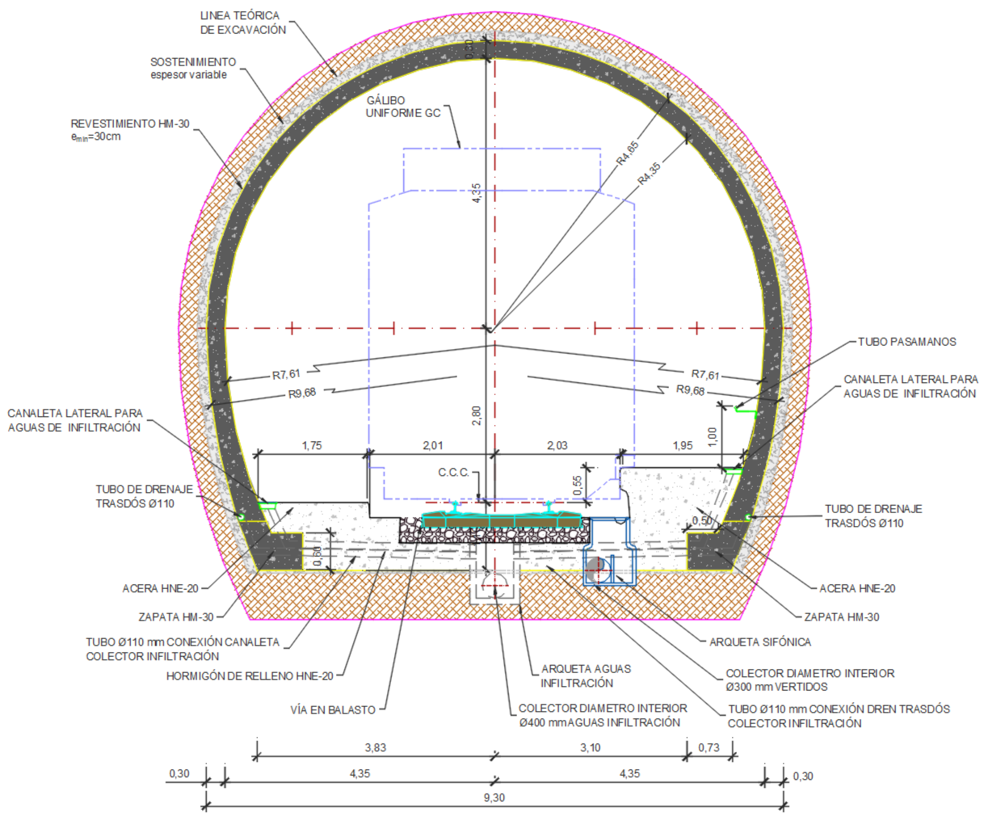
3.2. SECCIÓN GEOMÉTRICA TÚNEL DE VÍA ÚNICA

Para la definición geométrica de la sección tipo se han tomado los siguientes valores:

- Túnel de vía única en ancho UIC (1.435 mm)
- Gálibo uniforme GC
- Cota de centro de círculo a 2,8 m sobre la cabeza de carril.
- Acera a un lado del túnel, con ancho de acera total de 1,95 m, y a 55 cm sobre la cota de carril del hilo bajo. Se ha dispuesto una acera pavimentada en el lado opuesto, a cota de carril, con un ancho de acera total de 1,75 m.
- El sistema de drenaje previsto es un sistema unitario de conducción de las aguas de infiltración, escorrentía y vertidos, formado por arquetas sifónicas laterales y dos drenajes, uno central y otro lateral. Las aguas de escorrentía y vertidos se evacúan a un colector central de 40 cm de diámetro, con arquetas de limpieza cada 50 m. Las aguas de infiltración, se conducen a un colector lateral de 30 cm de diámetro, con sumideros sifónicos cada 50 m conectados al colector.
- Cuando el terreno atravesado presente peores condiciones geotécnicas se ejecutará una contrabóveda con geometría semicircular (suelos o roca mala). Si las condiciones geotécnicas son mejores, la solución planteada es una solera recta.



Ejemplo de vía única con contrabóveda

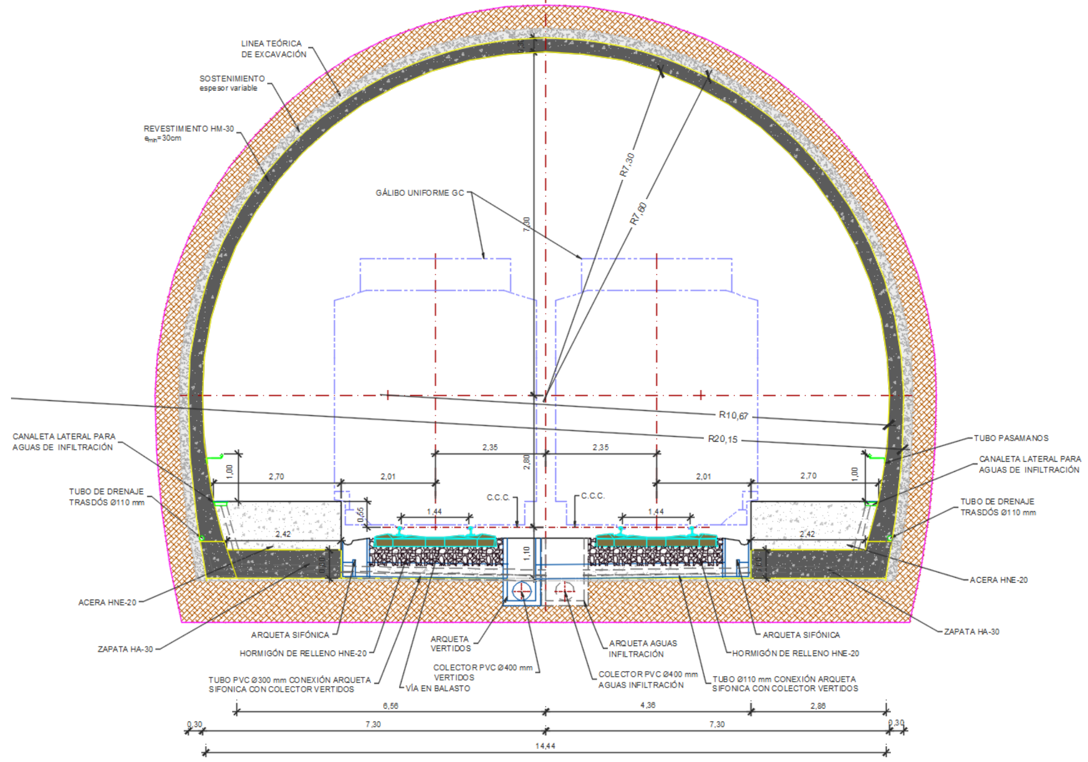


Ejemplo de vía única con solera

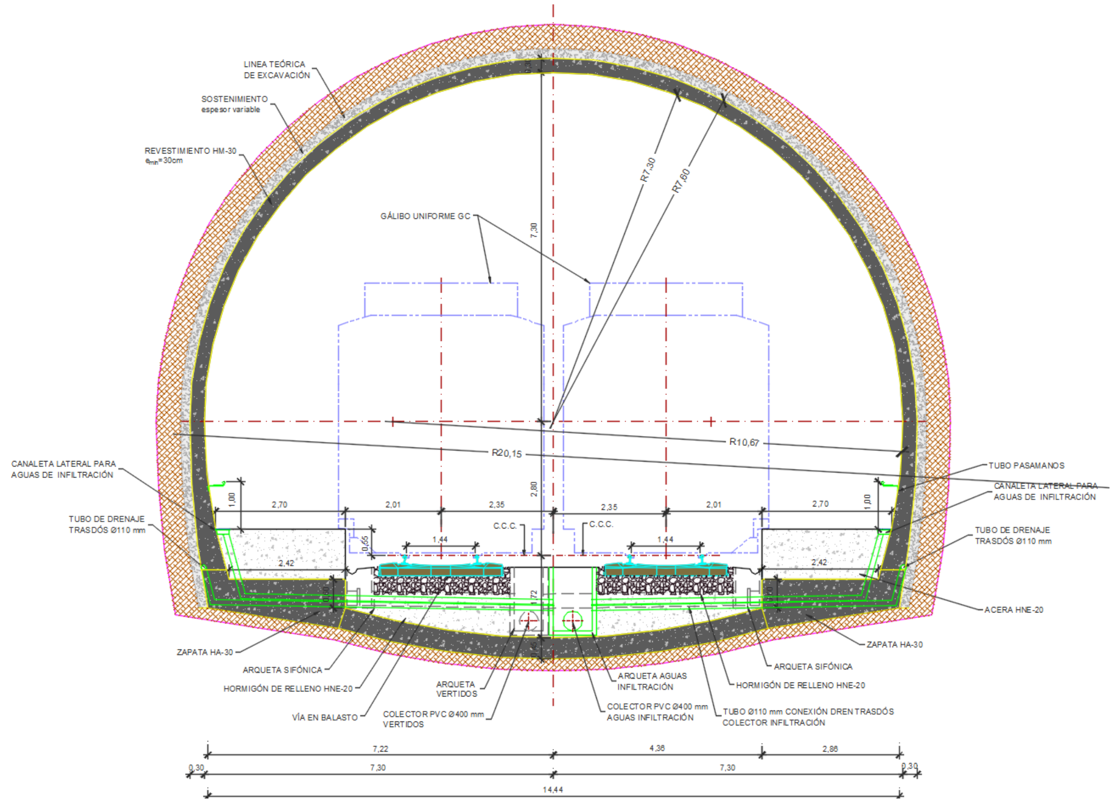
3.3. SECCIÓN GEOMÉTRICA TÚNEL DE VÍA DOBLE

Para la definición geométrica de la sección tipo se han tomado los siguientes valores:

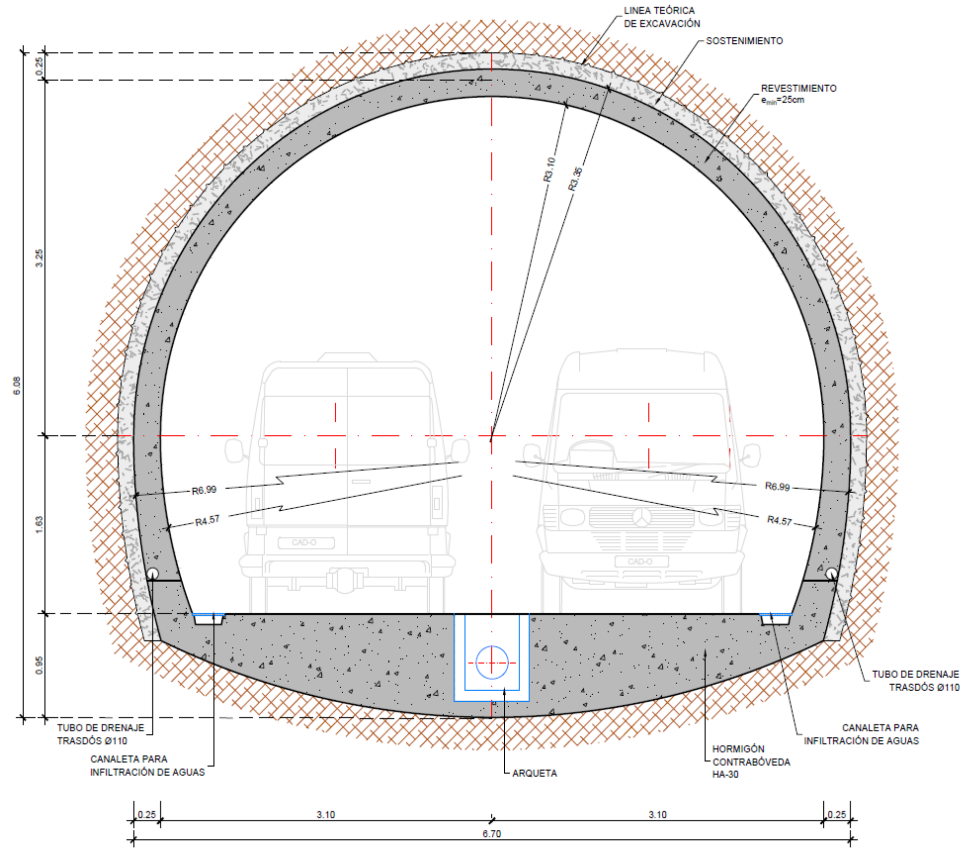
- Túnel de vía doble en ancho UIC (1.435 mm).
- Gálibo uniforme GC.
- Distancia entre ejes de 4,7 m.
- Cota de centro de círculo a 2,8 m sobre la cabeza de carril.
- Nivel de paseo a 55 cm sobre la cota de carril del hilo bajo.
- Acera a ambos lados del túnel, con ancho variable en función de la sección (85 m² o 120 m²)
- El sistema de drenaje previsto es un sistema unitario de conducción de las aguas de infiltración, escorrentía y vertidos, formado por arquetas sifónicas laterales y dos drenajes, uno central y otro lateral. Las aguas de escorrentía y vertidos se evacúan a un colector central de 40 cm de diámetro, con arquetas de limpieza cada 50 m. Las aguas de infiltración, se conducen a un colector lateral de 30 cm de diámetro, con sumideros sifónicos cada 50 m conectados al colector.
- Cuando el terreno atravesado presente peores condiciones geotécnicas se ejecutará una contrabóveda con geometría semicircular (suelos o roca mala). Si las condiciones geotécnicas son mejores, la solución planteada es una solera recta.



Ejemplo de vía doble con solera



Ejemplo de vía doble con contrabóveda



Galería de emergencia vehicular con contrabóveda

3.4. GALERÍAS DE EVACUACIÓN O EMERGENCIA

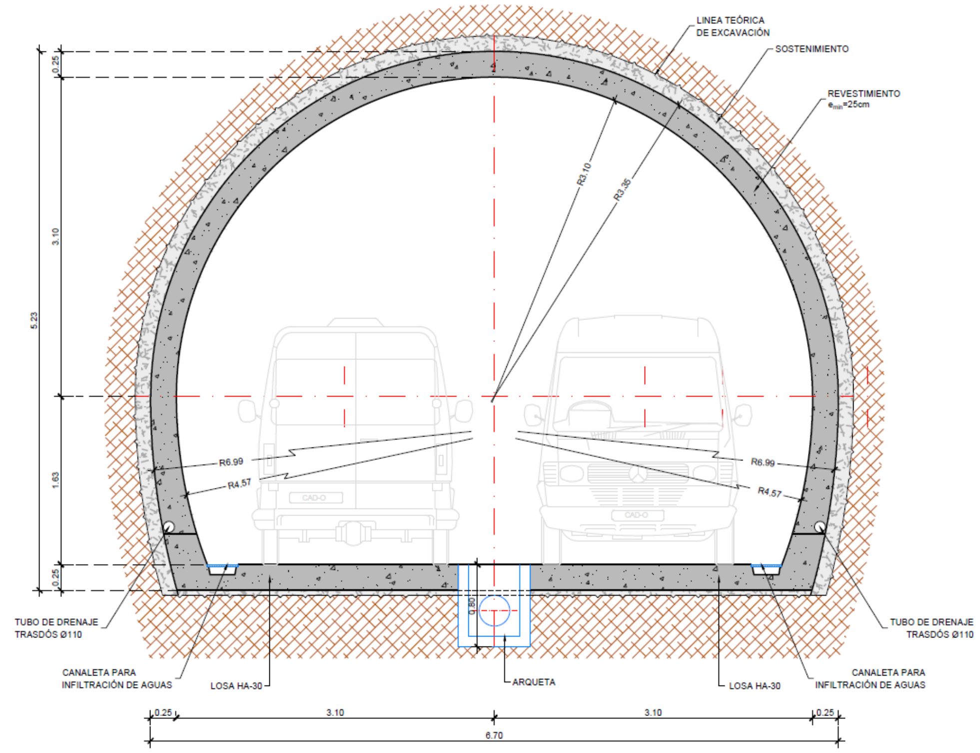
Se han definido galerías de evacuación vehiculares en todos aquellos túneles que presenten una longitud mayor a 1000 m.

Las galerías de emergencia vehiculares se han diseñado para permitir la circulación de dos vehículos en paralelo en su interior, lo que facilitará por un lado la movilidad de la maquinaria que se empleará en su construcción, y por otro la circulación de vehículos en dos sentidos en caso de emergencia.

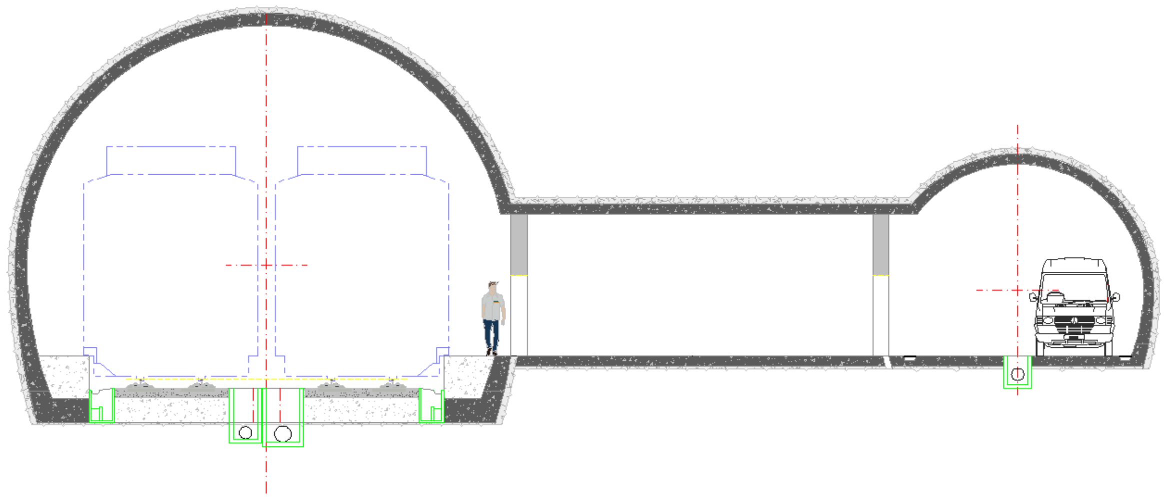
La sección tipo de la galería vehicular posee las siguientes características:

- Ancho mínimo 6,10 m
- Altura mínima 4,73 m

Al igual que en el resto de secciones tipo, en función del terreno atravesado se dispondrá de una contrabóveda con geometría semicircular, o una solera recta.



Galería de emergencia vehicular con solera



Esquema de entronque de galería de conexión con túnel principal

El actual estudio presenta varios túneles con éstas características repartidos en las distintas alternativas estudiadas, y que se exponen a continuación:

	TÚNEL	Nº GALERÍA	PK INICIO	PK FIN	LONGITUD (m)	COSTE m/l	COSTE PARCIAL	COSTE TOTAL
AGUILAR OESTE	Tunel 1.1	Galería Veh. 1	80+850	81+550	+700	4.863,81 €	3.404.668,26 €	**3.404.668,26 €**
	Tunel 1.7	Galería Veh. 2	89+200	0+600	+600	4.863,81 €	2.918.287,08 €	**2.918.287,08 €**
MAVE OESTE	Tunel 2.1	Galería Veh. 1	80+830	81+550	+720	4.863,81 €	3.501.944,49 €	**3.501.944,49 €**
AGUILAR ESTE	Tunel 3.1	Galería Veh. 1	79+915	80+500	+585	4.863,81 €	2.845.329,90 €	**5.739.297,92 €**
		Galería Veh. 2	81+250	81+845	+595	4.863,81 €	2.893.968,02 €	
	Tunel 3.6	Galería Veh. 1	89+200	0+600	+600	4.863,81 €	2.918.287,08 €	**2.918.287,08 €**
MAVE ESTE	Tunel 4.1	Galería Veh. 1	79+915	80+500	+585	4.863,81 €	2.845.329,90 €	**5.569.064,50 €**
		Galería Veh. 2	81+250	81+810	+560	4.863,81 €	2.723.734,60 €	

Se han planteado dos tipos de galerías:

- Galerías con entronque en el interior del túnel que discurren paralelas al túnel principal y con final en los emboquilles.
- En las alternativas de Aguilar Este y Oeste, en los túneles 1.7 y 3.6, una galería que discurre por la ladera occidental de la montaña hasta salir a superficie en un apartadero de la autopista A-67, con espacio suficiente para albergar una zona de seguridad de al menos 500 m².

4. PROCEDIMIENTO CONSTRUCTIVO

4.1. SELECCIÓN DEL MÉTODO CONSTRUCTIVO

Como procedimiento constructivo se opta por el Método Convencional desechando la excavación con tuneladora debido a que desde el punto de vista económico, y en base a la experiencia adquirida, las tuneladoras en zonas no urbanas suelen salir rentables en túneles de longitudes superiores a 4 – 5 km.

La excavación por métodos convencional permite que los trabajos sean más versátiles, pudiéndose en caso de necesidad o en las siguientes fases del proyecto, ampliar los frente de avance mediante la ejecución de galerías de ataque intermedio, ya que en este estudio se proyectan galerías de emergencia que podrían utilizarse para aumentar los frentes de excavación, si así fuera necesario durante la fase de obra.

La filosofía constructiva del Nuevo Método Austriaco (N.A.T.M.), aplica sostenimientos basados en el empleo de hormigón proyectado, bulones, mallazo y cerchas. Con este método se permite una cierta deformación del terreno hasta el momento en que se coloca el sostenimiento, aprovechando así la colaboración del terreno en la estabilidad de la excavación.

4.2. FASES DE EXCAVACIÓN

El esquema habitual de excavación de túneles de estas dimensiones aconseja realizar la excavación por fases. El método constructivo propuesto, basado en la aplicación de métodos convencionales, define un esquema de ejecución en dos fases: avance y destroza. En las zonas de peores condiciones geotécnicas, se agregará una tercera fase, denominada contrabóveda. A continuación se exponen brevemente diversos aspectos relacionados con la excavación de cada una de estas fases:

1. AVANCE: es la mitad superior de la sección del túnel (zona de bóveda). La sección de excavación de esta fase tiene una altura mínima desde clave de 6 m, en el caso del túnel de vía doble, suficiente para la correcta movilidad de la maquinaria necesaria.

2. DESTROZA: es la mitad inferior de la sección del túnel. Esta fase se comenzará a excavar a cierta distancia de la fase de avance o una vez calado el túnel. Si apareciesen problemas geotécnicos, la excavación de la destroza se podrá subdividir en bataches. En caso de hacerse en dos fases, en primer lugar se excavará una mitad de la sección, se sostendrá su hastial, para, a continuación, excavar la otra mitad y sostener el hastial restante. Otra posibilidad será excavar la zona central de la destroza, y posteriormente, excavar las zonas laterales sosteniendo sus respectivos hastiales. Las excavaciones en varias fases reducen al máximo la sección de excavación y, por lo tanto, aumentan la estabilidad.

3. En zonas de mala calidad geotécnica, se ejecutará una tercera fase de CONTRABÓVEDA, excavada bajo la destroza. Esta operación es norma de buena práctica habitual en obras de este tipo. Al atravesar terrenos de mala calidad geotécnica, como las zonas de falla, las tensiones horizontales son mayores que las verticales, por lo que se requiere dar continuidad a dichas tensiones entre hastiales a través de la contrabóveda.

4.3. CICLOS DE TRABAJO

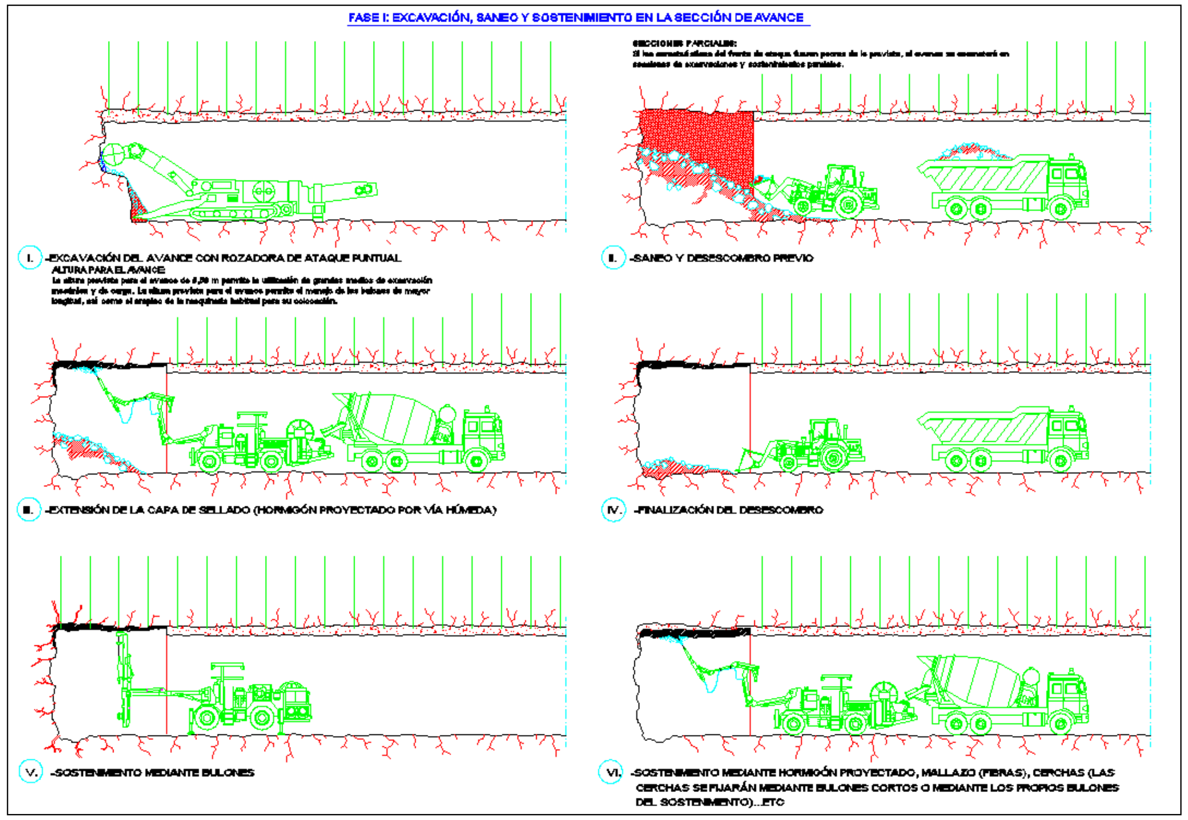
La ejecución de la excavación, sostenimiento, impermeabilización y revestimiento de los túneles se realizará de acuerdo a procesos cíclicos. A continuación se describen los ciclos de trabajo a seguir en cada etapa de ejecución:

1) *Excavación y Sostenimiento:* La primera etapa en la ejecución de los túneles consistirá en la ejecución de los ciclos de excavación y sostenimiento. La excavación se plantea mediante rozadora. La altura del avance deberá permitir la circulación fluida de los vehículos y el manejo de los bulones si fuese necesario, con la longitud indicada (4 m en general), por lo que será del orden de 6 m. La longitud de los pases de excavación dependerá de la calidad del terreno, variando en avance entre 0,5 m para las zonas singulares y las zonas de falla que cruzan transversalmente la traza, y los 3,5 m para las zonas más competentes. Simultáneamente a la excavación, se desarrollarán las labores de desescombrado. Una vez finalizado el pase de excavación, se colocará el sostenimiento previsto (hormigón proyectado, bulones, cerchas y mallazo). El ciclo finaliza con el replanteo del siguiente pase de excavación.

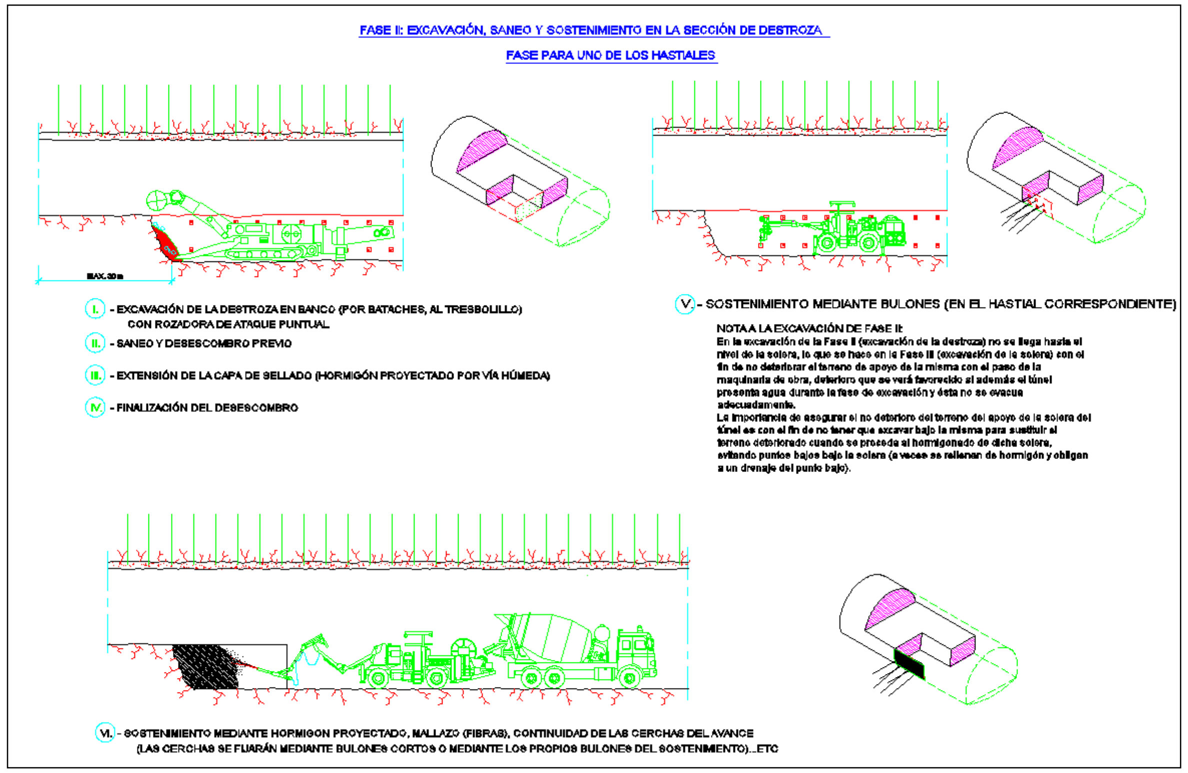
   La fase de destroza se realizará por bataches, donde la longitud de excavación puede oscilar en función de la calidad del terreno entre 1 y 7-8 m. Finalizado el pase de excavación, se colocará el sostenimiento previsto (hormigón proyectado, bulones, cerchas y mallazo).

Mediante este proceso cíclico, se excavará tanto el avance como la destroza de los túneles y en su caso, la contrabóveda.

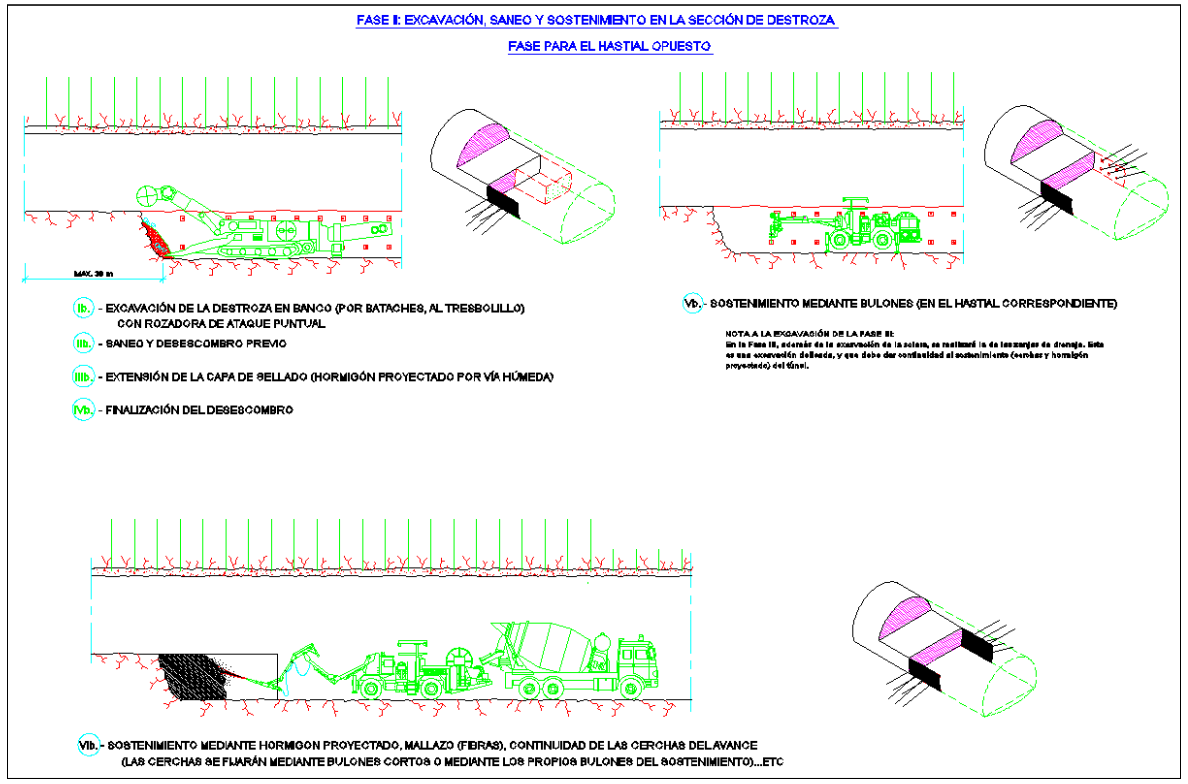
2) *Impermeabilización y revestimiento*: Una vez comprobadas las secciones transversales, se colocará la impermeabilización en todo el túnel y a continuación se hormigonará el revestimiento. Por último se inyectará en el trasdós de la clave con lechada de cemento para rellenar los huecos que hayan podido quedar en esta zona durante el hormigonado.



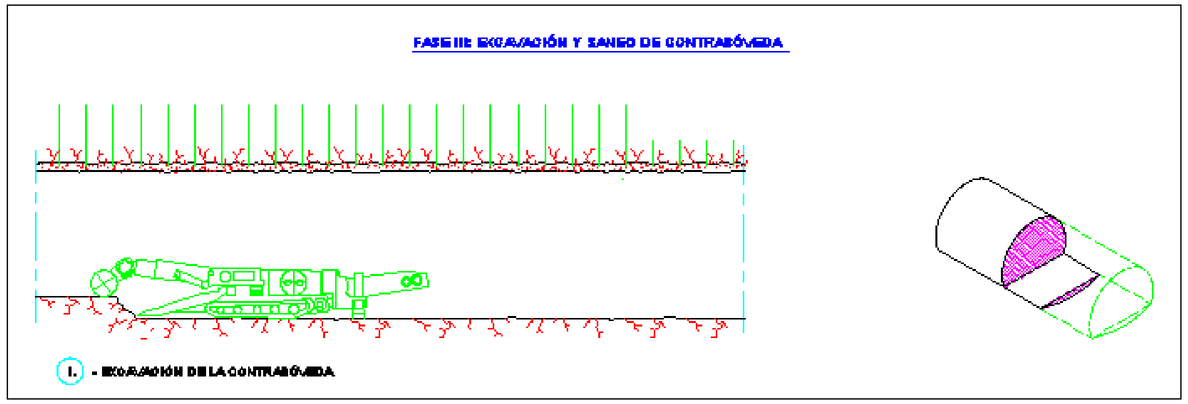
Fase de excavación en la sección de Avance



Fase de excavación en la sección de Destroza, primer hastial



Fase de excavación en la sección de Destroza, hastial opuesto



Fase de excavación de la contrabóveda

5. SECCIONES TIPO DE SOSTENIMIENTO

Para realizar una estimación previa del sostenimiento a utilizar en las excavaciones a realizar en el túnel se ha utilizado el índice RMR de Bieniawski y el índice Q de Barton, los cuales se ha correlacionado mediante la expresión:

$$Q = e^{\frac{RMR - 44}{9}}$$

El sostenimiento a utilizar se puede estimar mediante el **ábaco de Barton**, que exige el conocimiento del cociente entre la *dimensión crítica de la excavación y el ESR*.

El **Índice Q de Barton** fue desarrollado en Noruega en 1974 por Barton, Lien y Lunde, del Instituto Geotécnico Noruego. Se basó su desarrollo en el análisis de cientos de casos de túneles construidos principalmente en Escandinavia. Actualmente se denomina Nuevo Método Noruego de túneles al diseño de las excavaciones basándose directamente en los trabajos de Barton.

La Clasificación de Barton asigna a cada terreno un índice de calidad Q, tanto mayor cuanto mejor es la calidad de la roca. Su variación no es lineal como la del RMR, sino exponencial, y oscila entre Q=0.001 para terrenos muy malos y Q=1000 para terrenos muy buenos.

El valor de Q se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \cdot \frac{J_r}{J_a} \cdot \frac{J_w}{SRF}$$

Donde cada parámetro representa lo siguiente:

RQD: es el índice Rock Quality Designation, es decir, la relación en tanto por ciento entre la suma de longitudes de testigo de un sondeo mayores de 10 cm y la longitud total. Barton indica que basta tomar el RQD en incrementos de 5 en 5, y que como mínimo tomar RQD=10.

J_n: varía entre 0.5 y 20, y depende del número de familias de juntas que hay en el macizo.

J_r: varía entre 1 y 4, y depende de la rugosidad de las juntas.

J_a: varía entre 0.75 y 20, y depende del grado de alteración de las paredes de las juntas de la roca.

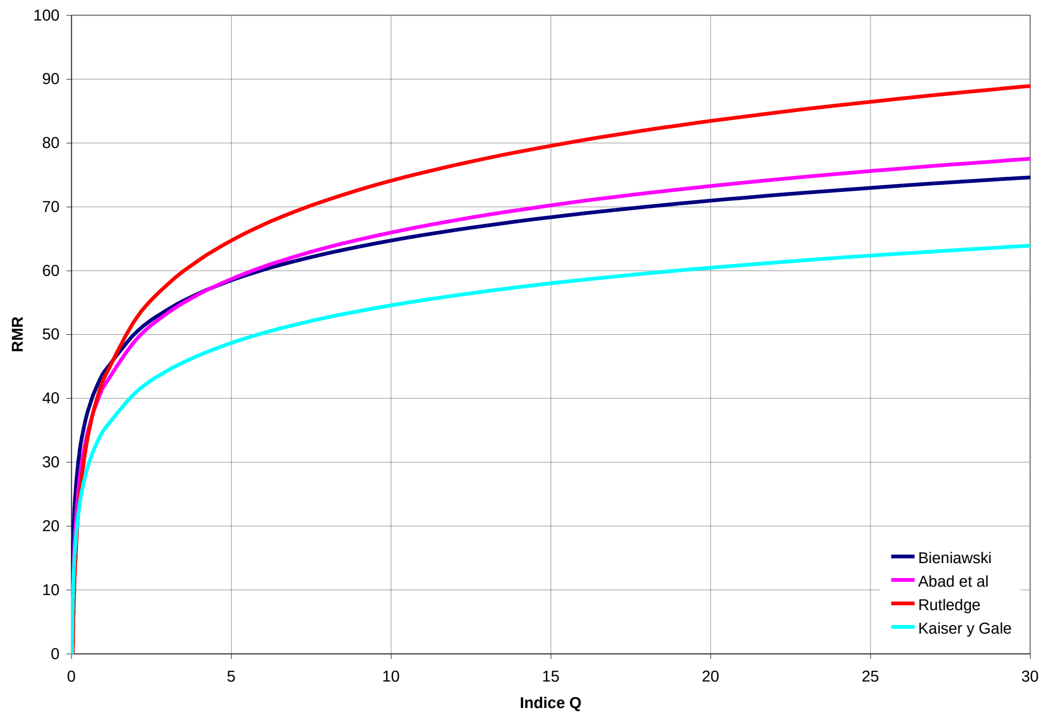
J_w: varía entre 0.05 y 1, dependiendo de la presencia de agua en el túnel.

SRF: son las iniciales de Stress Reduction Factor, y depende del estado tensional de la roca que atraviesa el túnel.

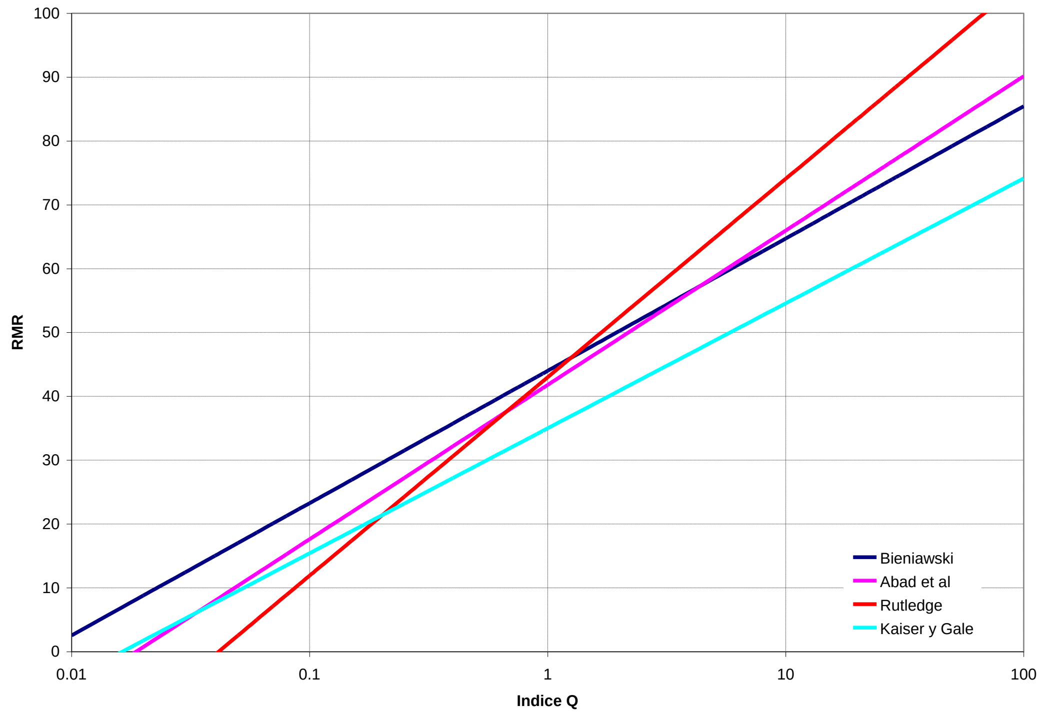
Para la obtención de cada uno de los cinco últimos parámetros, Barton aporta unas tablas donde se obtienen los valores correspondientes en función de descripciones generales del macizo rocoso.

Existen también diversas correlaciones para establecer una estimación entre el índice Q y el RMR, entre estas correlaciones hay que destacar:

- RMR = 9,0 · Ln Q + 44 (Según Bieniawski, 1976)
- RMR = 13,5 · Ln Q + 43 (Según Rutledge, 1978)
- RMR = 4,5 · Ln Q + 55,2(Según Moreno, 1980)
- RMR = 10,5 · Ln Q + 41,8 (Según Abad et al, 1983)
- RMR = 8,5 · Ln Q + 35 (Según Kaiser y Gale, 1985)
- RMR = 15 · log Q + 50 (Según Barton, 1995)



Correlaciones RMR-Q



Correlaciones RMR-Q en escala logarítmica

De entre estas correlaciones se adopta la de Bieniawski para determinar el índice Q, quedando la siguiente expresión empírica:

$$Q = e^{\frac{RMR - 44}{9}}$$

5.1. PREDIMENSIONAMIENTO SEGÚN EL ÍNDICE Q DE BARTON

A partir de este índice se realizará un predimensionamientode los Sostenimientos. La clasificación de Barton está más desarrollada que la del RMR de Bieniawski y permite obtener un sostenimiento más afinado. Para su aplicación es preciso además obtener el parámetro ESR (Excavation Support Ratio). El ESR es un factor que pondera la importancia de la obra de acuerdo a la siguiente tabla:

TIPO	DESCRIPCIÓN	ESR
A	• Minas abiertas temporalmente	3 - 5
B	• Pozos verticales	2,5 - 2
C	• Minas abiertas permanentemente. • Túneles hidroeléctricos • Túneles piloto y galerías de avance para grandes excavaciones	1,6
D	• Cavernas de almacenamiento • Plantas de tratamiento de aguas • Túneles pequeños de carretera y ferrocarril	1,3
E	• Centrales eléctricas subterráneas • Túneles grandes de carretera y ferrocarril • Cavernas de defensa civil • Boquillas e intersecciones	1
F	• Centrales nucleares subterráneas • Estaciones de ferrocarril • Pabellones deportivos y de servicios	0,8

Con el Índice Q y la relación Ancho de excavación / ESR, se puede determinar al sostenimiento propuesto por Barton en el Abaco.

En el caso objeto de este estudio, se ha adoptado un ESR de 1,0 al tratarse de túneles ferroviarios de gran sección.

De acuerdo con la metodología descrita, se ha estimado el sostenimiento a aplicar adoptando un ancho de excavación máximo de 13 para el túnel de doble vía, lo que nos da un cociente dimensión crítica de excavación/ESR igual a 13.

Para el túnel de vía única, el ancho de excavación máximo es de 10 m, lo que da un cociente dimensión crítica de excavación/ESR igual a 10.

A continuación se presenta la estimación previa del sostenimiento a aplicar en los tipos de terreno que está previsto sean atravesados por los túneles.

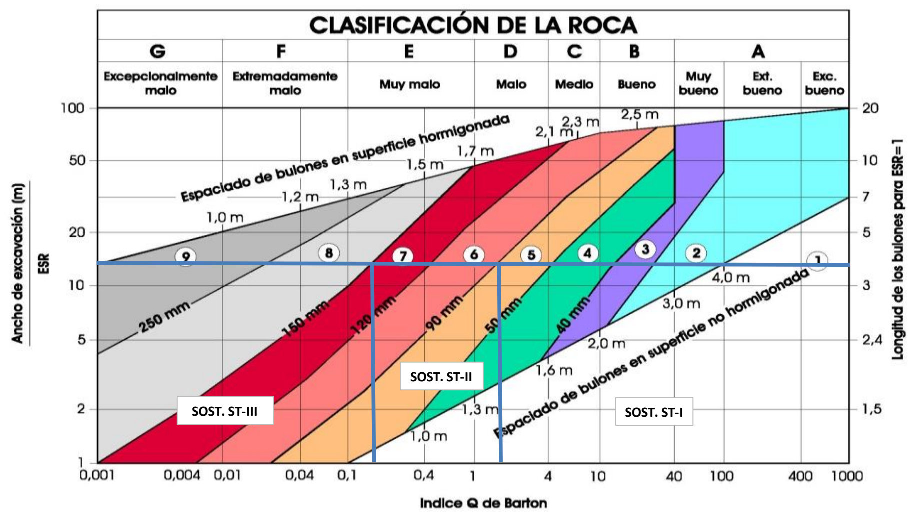


Gráfico de Barton para el Túnel de Vía Doble

Categorías de sostenimiento:

1. *Sin sostenimiento*
2. *Bulonado puntual*
3. *Bulonado sistemático*
4. *Bulonado sistemático con hormigón proyectado*
5. *Hormigón proyectado con fibras, 5-9 cm, y bulonado*
6. *Hormigón proyectado con fibras, 9-12 cm y bulonado*
7. *Hormigón proyectado con fibras, 12-15 cm y bulonado*
8. *Hormigón proyectado con fibras, >15 cm con bulonado y cerchas*
9. *Revestimiento de hormigón*

Por lo tanto en función de los resultado obtenidos en el ábaco de Barton se establecen tres secciones tipo de sostenimiento (para las zonas singulares como emboquilles, paso de falla bajo edificaciones, o zonas de escasa cobertera, se ha proyectado una cuarta sección de sostenimiento ST-IV independiente).

En la siguiente tabla, a modo de resumen, pueden observarse los espesores de hormigón proyectado y otros elementos de sostenimientos necesarios según las recomendaciones de Barton.

SECCION TIPO	CALIDAD GEOTÉCNICA	RANGO APROXIMADO Q	RANGO APROXIMADO RMR	ESPESOR GUNITA	REFUERZO	CERCHA	BULONES
ST-I	FAVORABLE	Q > 2	RMR > 50	9 cm	FIBRAS DE ACERO	NO	LONG. BULON 4 m espaciado 1,8 m
ST-II	MEDIA	2 > Q > 0,2	50 > RMR > 30	15 cm	FIBRAS DE ACERO	NO	LONG. BULON 4 m espaciado 1,35 m
ST-III	DESFAVORABLE	Q < 0,2	RMR < 30	25 cm	FIBRAS DE ACERO	SI	LONG. BULON 4 m espaciado 1,0 m
ST-IV	EMBOQUILLES Y ZONAS SINGULARES						

Secciones tipo de sostenimientos según recomendaciones de Barton

5.2. PREDIMENSIONAMIENTO SEGÚN EL ÍNDICE RMR DE BIENIAWSKI

Otra forma para la caracterización del macizo es utilizar la clasificación geomecánica de Bieniawski (1989), calculándose el índice RMR (Rock Mass Rating).

Las clasificaciones geomecánicas son un método de ingeniería geológica que permite evaluar el comportamiento geomecánico del macizo rocoso, este comportamiento incluye la estimación de los parámetros geotécnicos de diseño y en el tipo de sostenimiento en el túnel.

La clasificación de Bieniawski de 1989 permite valorar la calidad de un determinado macizo atendiendo a una serie de criterios como pueden ser la resistencia a la compresión simple, las condiciones de diaclasado, efecto del agua y la posición relativa de la excavación respecto a las diaclasas.

Para tener en cuenta la incidencia de estos factores, se definen una serie de parámetros, asignándoles unas determinadas valoraciones, cuya suma en cada caso nos da el RMR.

Los cinco parámetros que definen la calidad global del macizo son los siguientes:

Resistencia de la roca matriz:	0 –15 %
RQD (%):	3 – 20 %
Espaciado de las juntas:	5 –20 %
Estado de las juntas:	0 – 30 %
Presencia de agua:	0 – 15 %
RANGO VARIACIÓN RMR:	8 – 100 %

Adicionalmente el sistema de clasificación considera un factor de minoración en función de la disposición relativa entre las discontinuidades y el eje del túnel, distinguiendo entre cinco posibles estados, que discurren entre muy favorable y muy desfavorable, con una constante de corrección que varía entre 0 y –12. Esta penalización del índice obtenido, así como la presencia o no de agua, sólo deben considerarse cuando se pretenda llevar a cabo una aplicación del índice RMR muy concreta, como por ejemplo la asignación empírica de sostenimientos mediante el cuadro propuesto por Bieniawski.

PARÁMETRO			RANGO DE VALORES						
1	Resistencia de la roca intacta	Índice de carga puntual	> 10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa			
		R. compresión simple	> 250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 MPa	1-5 MPa	< 1 MPa
	Valoración		15	12	7	4	2	1	0
2	RQD		90-100%	75-90%	50-75%	25-50%	<25%		
	Valoración		20	17	13	8	3		
3	Espaciado de las discontinuidades		> 2m	0,6-2 m	0,2-0,6 m	6-20 cm	< 6 cm		
	Valoración		20	15	10	8	5		
4	Estado de les discontinuidades		Superficies muy rugosas. Sin separación. Bordes sanos y duros	Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1mm Bordes ligeramente alterados	Superficies ligeramente rugosas. Separación < 1mm Bordes muy alterados	Superficies estriadas o con rellenos < 5mm o abiertas 1-5 mm. Continuas	Rellenos blandos > 5 mm ó apertura > 5 mm. Continuas		

	PARÁMETRO		RANGO DE VALORES				
	Valoración		30	25	20	10	0
5	Agua subterránea	Caudal por 10 m de túnel	Nulo	< 10 litros/min	10-25 litros/min	25-125 litros/min	> 125 litros/min
		Relación: Presión agua / Presión principal mayor	0	0-0,1	0,1-0,2	0,2-0,5	> 0,5
		Estado General	Completamente seco	Ligeramente húmedo	Húmedo	Goteando	Fluyendo
	Valoración		15	10	7	4	0

Cuadro de sostenimientos de Bieniawski

De acuerdo con los criterios de Bieniawski y en función del RMR obtenido, los macizos se clasifican en las cinco categorías (Rocas de Calidad I a VI), los cuales se detallan a continuación:

RMR	TIPO	CALIDAD
81 – 100	I	Muy bueno
61 – 80	II	Bueno
41 – 60	III	Medio
21 – 40	IV	Malo
< 20	V	Muy malo

Para la valoración de los diferentes parámetros que conforman el índice RMR, se emplean como fuentes de información principales las estaciones geomecánicas efectuadas, así como los sondeos y ensayos de laboratorio disponibles.

Para túneles de sección en herradura con anchura máxima de 10 m y una tensión vertical máxima de 250 kg/cm² Bieniawski propone los siguientes sostenimientos en función de la calidad de la roca estimada según el RMR (Rock Mass Rating).

CLASE ROCA	RMR	EXCAVACIÓN	SOSTENIMIENTO PRIMARIO		
			Bulonado (*) (longitudes, túneles de 10 m de luz)	Gunitado	Cerchas
I	100 - 81	A sección completa. Avances de 3 m	Innecesario, salvo algún bulón ocasional		
II	80 - 61	Plena sección. Avances de 1-1,5 m	Bulonado local en bóveda, con longitudes de 2-3 m y separación de 2-2,5 m, eventualmente con mallazo	5 cm en bóveda para impermeabilización	No
III	60 - 41	Galería en clave y bataches. Avances de 1,5 a 3 m en la galería	Bulonado sistemático de 3-4 m con separaciones de 1,5 a 2 m en bóveda y hastiales. Mallazo en bóveda	5 a 10 cm en la bóveda y 3 cm en hastiales	No
IV	40 - 21	Galería en la clave y bataches Avances de 1 a 1,5 m en la galería	Bulonado sistemático de 4-5 m con separaciones de 1-1,5 m en bóveda y hastiales, con mallazo	10-15 cm en bóveda y 10 cm en hastiales. Aplicación según avanza la excavación	Entibación ligera ocasional, con separaciones de 1,5 m
V	> 20	Galerías múltiples. Avances de 0,5-1 m en la galería de clave	Bulonado sistemático de 5-6 m, con separaciones de 1-1,5 m en bóveda y hastiales, con mallazo. Bulonado de la solera	15-20 cm en bóveda, 15 cm en hastiales y 5 cm en el frente. Aplicación inmediata después de cada voladura	Cerchas fuertes separadas 0,75 m con blindaje de chapas, y cerradas en solera

(*) Bulones de 20 mm de diámetro, con resina.

Por lo tanto, atendiendo a los rangos de RMR utilizados previamente en el Predimensionamiento realizado por el ábaco de Barton, los elementos de sostenimiento recomendados por Bieniawski son los siguientes:

SECCION TIPO	CALIDAD GEOTÉCNICA	RANGO APROXIMADO Q	RANGO APROXIMADO RMR	ESPESOR GUNITA	REFUERZO	CERCHA	BULONES
ST-I	FAVORABLE	Q > 2	RMR > 50	5 - 10 cm en bóveda 3 cm en hastiales	Mallazo en bóveda	NO	LONG. BULON 3-4 m espaciado 1,5-2 m
ST-II	MEDIA	2 > Q > 0,2	50 > RMR > 30	10 - 15 cm en bóveda 10 cm en hastiales	Mallazo	OCASIONAL espaciado 1,5 m	LONG. BULON 4-5 m espaciado 1-1,5 m
ST-III	DESFAVORABLE	Q < 0,2	RMR < 30	15 - 20 cm en bóveda 15 cm en hastiales 5 cm frente excavación	Mallazo	CERCHAS FUERTES espaciado 0,75 m	LONG. BULON 5-6 m espaciado 1-1,5 m
ST-IV	EMBOQUILLES Y ZONAS SINGULARES						

Secciones tipo de sostenimientos según recomendaciones de Bieniawski

5.3. SOSTENIMIENTOS PROPUESTOS

Una vez valoradas las recomendaciones de sostenimientos para los rangos adoptados, se proponen las siguientes secciones tipo. Son muy similares a las obtenidas en el Predimensionamiento de Barton y Bieniawski. La sección tipo ST-IV se ha diseño atendiendo a experiencias en terrenos y situaciones similares.

<table>
<tr><th colspan="9">SECCIONES TIPO DE SOSTENIMIENTO</th></tr>
<tr><th>SECCION TIPO</th><th>CALIDAD GEOTÉCNICA</th><th>RANGO APROXIMADO Q BARTON</th><th>RANGO APROXIMADO RMR</th><th>LONGITUD DE PASE</th><th>ESPESOR GUNITA</th><th>FIBRAS DE ACERO</th><th>CERCHA</th><th>BULONES</th></tr>
<tr><td>ST-I</td><td>FAVORABLE</td><td>Q > 2</td><td>RMR > 50</td><td>3,5 m</td><td>10 cm
H/MP-30</td><td>40 Kg/m³</td><td></td><td>SWELLEX O SIMILAR 24 T
4 m de longitud en malla 1,75 m x 1,75 m</td></tr>
<tr><td>ST-II</td><td>MEDIA</td><td>2 > Q > 0,2</td><td>50 > RMR > 30</td><td>1,5 m</td><td>18 cm
H/MP-30</td><td>40 Kg/m³</td><td>TH-29
a 1,5 m</td><td></td></tr>
<tr><td>ST-III</td><td>DESFAVORABLE</td><td>Q < 0,2</td><td>RMR < 30</td><td>1,0 m</td><td>25 cm
H/MP-30</td><td>40 Kg/m³</td><td>HEB-180
a 1,0 m</td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2">ST-IV</td><td rowspan="2" colspan="3">EMBOQUILLES Y ZONAS SINGULARES</td><td>0,5 m</td><td>30 cm
H/MP-30</td><td>40 Kg/m³</td><td>HEB-180
a 0,5 m</td><td></td></tr>
<tr><td colspan="5">Paraguas de micropilotes de refuerzo: Øexc. 150 mm, Øext. tubo 114,3 mm, espesor 10 mm. Longitud 9 m, solape 3 m, espaciado entre tubo 30 cm.
Bulones de fibra de vidrio en el frente. Malla 1,75 x 1,75 m, longitud 9, solape 3 m
Sellado del frente 10 cm de H/MP-30. Machón central.</td></tr>
</table>

Tabla de sostenimientos propuestos para el Estudio Informativo

6. REVESTIMIENTO

Toda obra subterránea debe tener un revestimiento que no ejerza un papel estructural a corto plazo, pero que pueda asegurar la estabilidad de la obra a largo plazo ante una eventual degradación de las características mecánicas del terreno o de los elementos de sostenimiento.

El problema que se plantea es definir qué tipo de exigencias debe tener el revestimiento de un túnel para que sea compatible con las condiciones de utilización y con un costo de ejecución razonable.

A continuación se señalan algunos de los motivos por los que se considera que su colocación es necesaria:

- El revestimiento aporta un coeficiente de seguridad adicional, colaborando con el sostenimiento a corto plazo. A largo plazo no se puede confiar plenamente en el sostenimiento, pues al estar en contacto directo con las humedades del terreno, éste tiende a alterarse perdiendo alguna de sus características resistentes. La estabilidad a largo plazo se garantiza con el revestimiento.
- El revestimiento de hormigón permite disminuir significativamente las labores de mantenimiento y conservación, crecientes con la edad del túnel, que son normalmente muy costosas y que además entorpecen el tráfico.
- Evita la posible incidencia de convergencias residuales.
- El revestimiento reduce la rugosidad y por tanto mejora la circulación del aire y gases.
- Protege al sostenimiento frente a un posible incendio, el efecto de la agresividad y envejecimiento.

Se procederá al revestimiento del túnel una vez estabilizadas las convergencias e impermeabilizado el túnel.

Antes de proceder al revestimiento del túnel, se comprobará mediante laser scaner las secciones que entren dentro de la sección de revestimiento, procediendo al picado de estas zonas puntuales, y siempre reponiendo el sostenimiento en el caso de que se destruya el que había con anterioridad.

Se propone un espesor de revestimiento de 30 cm de HM-30 reforzado con 2 kg de fibra de polipropileno por cada m^3 de hormigón.

7. TRATAMIENTOS ESPECIALES

Una vez definidas las secciones tipo de sostenimiento a aplicar, mediante las recomendaciones de Barton y Bieniawski, se logrará estabilizar la excavación en todas las calidades de terreno previstas. No obstante, cabe la posibilidad de que se intercepten zonas en que la calidad geotécnica de los materiales sea tan mala, que puede no ser suficiente con los sostenimientos anteriormente definidos, y sea necesario recurrir a tratamientos de refuerzo complementario, conocido con el nombre genérico de tratamientos especiales.

Los tratamientos especiales se usan de forma puntual, con objeto de atravesar zonas muy concretas de terreno. Se aplicarán, eventualmente, según la misión que tenga encomendada el tratamiento:

7.1. TRATAMIENTOS DE ESTABILIDAD DE LA BÓVEDA Y DE FRENTE DE EXCAVACIÓN

En esta fase del proyecto todos ellos se incluyen en la sección tipo ST-IV, en principio según las características del terreno a atravesar se proyectan asociados a esta sección tipo, sin embargo es posible que en futuras fases, con un estudio más ajustado del trazado, en lo que a cualidades geológicas – geotécnicas se refiere, puedan independizarse de esta sección tipo ST-IV. También en ocasiones puede ser necesario la utilización de uno o varios de estos tratamientos asociado a otra sección tipo de sostenimiento.

Estos tratamientos son:

- Paraguas de micropilotes: se empleará para evitar sobre excavaciones en clave. Consiste en la colocación de elementos lineales paralelos al túnel en toda la bóveda de este.

  Se emplearán para tubos de acero de diámetro 114 mm y espesor 10 mm. El diámetro de perforación será de 150 mm y se inyectaran lechada de cemento. Cuando la zona a atravesar es muy amplia, se colocan paraguas sucesivos, con un solape mínimo entre uno y otro de 3 metros.

- Gunita sobre-acelerada: se dispondrá en el frente de excavación para evitar la descompresión del terreno y mejorar la estabilidad de la excavación. Este tipo de hormigón proyectado presenta una dosificación de acelerante superior a la empleada para la gunita de sostenimiento, lo que le permite desarrollar altas resistencias iniciales, la reducción en las resistencias finales del hormigón proyectado, que supone el empleo de acelerantes, no resulta problemático en este caso, ya que esta gunita se eliminara con la excavación del siguiente pase.
- Machón central. Es otra medida de estabilización del frente, de esta manera evitamos que la excavación del frente sea completamente vertical, ayudando a la mejora de la estabilidad. El tamaño e inclinación del machón debe de compatibilizarse con la excavación, de manera que no repercuta en una disminución del rendimiento.
- Bulones de fibra de vidrio. Se disponen en el frente para mejorar su estabilidad. En lugar de utilizar bulones de acero se colocarán bulones de fibra vidrio, estos últimos poseen unas buenas características de resistencia a tracción con la ventaja de son muy fáciles de excavar. Se disponen de forma horizontal, con una ligera inclinación, y se han diseñado con una longitud y solape igual a la del paraguas de micropilotes. Su puesta en obra es sencilla y consiste en un replanteo inicial, perforación de los taladros, colocación de los bulones e inyección de lechada de cemento.

Evidentemente un aumento de la presión de inyección por encima de los límites de presión fijados, también significa la paralización de la inyección.

8. IMPERMEABILIZACIÓN Y DRENAJE

Para proteger el revestimiento de la acción de las aguas subterráneas, y para evitar posibles goteos sobre la plataforma, así como aliviar las presiones intersticiales sobre aquel, se considera conveniente la impermeabilización completa de los túneles.

El sistema que se considera más eficaz está constituido por una lámina porosa de protección, situada en contacto con el sostenimiento, lámina de tipo geotextil, y otra lámina de impermeabilización propiamente dicha colocada a continuación, ésta de tipo sintético (P.V.C. o P.E.). El geotextil se ocupará de filtrar los finos procedentes del lavado del sostenimiento y drenar los caudales para aliviar las presiones intersticiales, así como proteger la lámina frente a las irregularidades del sostenimiento.

Estas láminas se aplican sobre el hormigón proyectado, sujetándolas con anclajes mecánicos y soldando térmicamente las distintas piezas necesarias para recubrir los paramentos del túnel.

La lámina de impermeabilización tendrá continuidad, mediante termo-soldado, hasta alcanzar los tubos dren de PVC ranurado que se colocarán longitudinalmente a lo largo de los túneles, cerca de los paramentos y que conectarán con un canal de pequeñas dimensiones adosado al paramento.

9. MEDIDAS A ADOPTAR FRENTE A POSIBLES AFECCIONES HIDROGEOLÓGICAS

Debido a las posibles afecciones hidrogeológicas que pueden darse en los túneles por la circunstancia de atravesar los macizos calizos posiblemente karstificados, (ver consideraciones hidrogeológicas en el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia), se proponen las siguientes medidas. Éstas se han subdividido en Medidas de Mitigación y Medidas de Seguimiento.

9.1. Medidas de Mitigación

Dentro de estas medidas, a su vez, se contemplan dos tipos de actuaciones:

- Las ejecutadas en el interior de los túneles, encaminadas a reducir el flujo de agua drenado hacia el interior de los mismos y el abatimiento de los niveles piezométricos.
- Las que se lleven a cabo en el medio, con objeto de reducir el impacto socioeconómico debido a las afecciones a elementos hidrogeológicos (fuentes, abrevaderos, captaciones de abastecimiento, caudales ecológicos, etc.).

9.1.1. Medidas de Mitigación en el interior de los túneles

9.1.1.1. Tratamiento de impermeabilización mediante inyecciones

En las zonas donde se atraviesen formaciones con presencia de agua, será necesario proyectar un tratamiento de pre-inyección para la impermeabilización del túnel.

El propósito de estas inyecciones previas de lechada es la impermeabilización final del túnel y también una mejora de la calidad geotécnica del terreno. Para evitar afecciones en superficie estas inyecciones se ejecutarán desde el frente de excavación y comenzarán antes de llegar la excavación a la zona de influencia del acuífero. De esta manera se podrá reducir la cantidad de agua en el interior del túnel durante la fase de excavación, además de producir una mejora en la estabilidad del frente y en el material del entorno.

La buena ejecución de estas pre-inyecciones es fundamental para la impermeabilización del túnel. Tal y como se ha comprobado en obras de reciente construcción, la efectividad de las post-inyecciones está muy relacionada con estas inyecciones previas, resultando muy complicado la impermeabilización de un túnel únicamente con tratamiento de post-inyecciones tras la excavación.

El método de inyección, descrito de forma sucinta, consiste en una serie de taladros en abanico en todo el perímetro del túnel, en los cuales se procede a realizar una inyección de lechada de cemento a cierta presión.

Las longitudes de estos taladros son variables, pero habitualmente oscilan entre 15 – 25 m y el espaciamiento entre ellos aproximadamente de 1 o 2 m. Al igual que los paraguas de micropilotes están inclinados respecto a la horizontal un ángulo de 10º ± 5º y se suelen solapar entre 1/2 y 1/3 de su longitud.

El producto de inyección será lechada de cemento, para la cual se utilizaran cementos tipo I. Al poseer los cementos de este tipo un porcentaje mayor de clinker se puede controlar mejor su

fraguado con distintos aditivos, la adicción de acelerantes a la lechada puede conseguir un fraguado más rápido evitando que el agua "lave" la lechada o ésta se vaya por otras vías. Las relaciones agua/cemento (a/c) oscilarán entre 1 – 2 y se podrán ir disminuyendo siempre y cuando no se sobrepase la presión de inyección máxima prevista.

Un parámetro fundamental en la inyección es la presión de inyección, resulta complicado obtener buenos resultados si la presión de inyección no es la correcta. Las presiones habituales en este tipo de inyecciones oscilan entre los 4 -7 bares, sin embargo éstas se deben de ajustar según los resultados que se van obteniendo durante los trabajos.

Otro aspecto importante en el diseño de las inyecciones es el volumen de admisión. Este parámetro junto con la presión de inyección son parte importante en el control de las inyecciones, de forma que con ellos dos se suele fijar el criterio de finalización de la inyección. Es habitual limitar el volumen de inyección a 100 – 150 l de lechada/m de taladro. En el caso de que se supere este valor sin aumentar la presión de inyección debería de revisarse la inyección, ya que es posible que existan fugas de lechada por otras vías distintas de las que se quieren tratar.

9.1.1.2. Taladros en frente de túnel

Otro tratamiento habitual durante la excavación de un túnel con cavidades o conductos bajo el nivel freático es el drenaje previo a la ejecución del frente del túnel. El concepto de forma sucinta consiste básicamente hacer descender el nivel freático general que afecta al túnel mediante una serie de taladros ejecutados, bien desde el frente del túnel, desde la superficie o incluso desde galerías laterales o de exploración dentro de la sección del túnel.

Estas perforaciones oscilan en el rango de longitud entre 10 y 20 m de manera que puedan abarcarse períodos de ejecución de entre 1 y 2 semanas, volviendo a repetir el proceso cuantas veces sea necesario.

De esta forma, además de comprobar la existencia de cavidades para su tratamiento previo, se podrá detectar la afluencia de agua, y obtener los parámetros de perforabilidad del terreno.

De forma complementaria a los taladros de reconocimiento, y en pases más cortos, se suelen ejecutar mechinales en el frente de excavación para generar un patrón de circulación del agua que facilite su drenaje, permitiendo la liberación de la presión hidrostática del frente y facilitando su estabilidad.

9.1.1.3. Túnel estanco

En el caso en el que se confirme que algún túnel pueda atravesar un acuífero kárstico con volúmenes de agua importantes, será necesario proyectarlo de forma que garantice que no se produce afección al acuífero y que los recursos no son desviados o drenados por el túnel. A la vez, será necesario proyectar un revestimiento impermeable que garantice que la explotación de la línea se desarrolle en unas condiciones razonables.

El diseño de la sección tipo estanca se realizará con una estimación de los niveles piezométricos máximos previsibles que se hayan obtenido del Estudio Hidrogeológico.

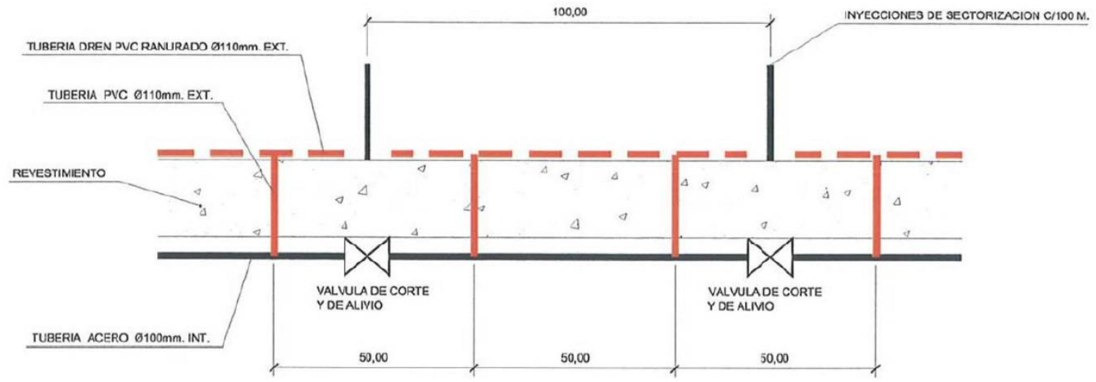
Para que la sección sea impermeable, entre el sostenimiento y el revestimiento + contrabóveda se suele proyectar un sistema consistente en un geotextil y una membrana de PVC termosoldada.

Ante la eventualidad de que la carga prevista pueda verse superada, y con el fin de evitar que se produzcan mayores presiones sobre el revestimiento que las previstas, se diseñará un sistema de alivio de presiones cuyo objeto es que se pueda drenar parcialmente el trasdós del revestimiento para evitar que se afecte a la integridad de la sección.

De forma somera, el sistema de alivio de sobrepresiones consiste en la instalación de tubos dren longitudinales ranurados que se conectan con el interior del túnel a través de tubos pasantes. La interrupción de la lámina impermeable por los tubos deberá estar perfectamente sellada para dar continuidad a la misma. Estos tubos constan de una serie de válvulas, contadores y transmisores de presión que estarán controlados desde el centro de control que se designe al efecto.

Las válvulas de alivio están automatizadas de forma que una vez superada la presión a la que están reguladas, se abren permitiendo la salida de agua hasta restablecimiento de los niveles de presión que se hayan regulado, desembocando directamente en las arquetas de drenaje de los colectores del interior del túnel. El sistema permite conocer en todo momento la presión a la que está sometido el revestimiento.

Adicionalmente se suelen efectuar inyecciones de sectorización cada 100 m que impiden generar un patrón de flujo continuo en el trasdós del túnel.



Esquema de sistema de alivio de sobrepresiones. Fuente: Proyecto de construcción de plataforma de la línea de Alta Velocidad Vitoria – Bilbao – San Sebastian. Ayesa – Saitec.

9.1.2. Medidas de Mitigación en el medio acuífero

Por lo que respecta a la mitigación del impacto en el medio acuífero, al constituir el túnel un elemento lineal por el que se produce un drenaje continuo y quedar integrado dentro del flujo subterráneo, resultan escasas las posibles medidas de restitución de flujo que pueden llevarse a cabo (una vez contempladas las comentadas en el apartado anterior). La afección a los niveles freáticos supone, por tanto, un coste ambiental ligado al trazado, muy difícil de corregir y que deberá ser asumido. Las medidas a adoptar se ven limitadas, entonces, a la reposición de

captaciones y, en todo caso, a la restitución de los flujos superficiales para garantizar los caudales ecológicos de los cursos fluviales.

Se distinguen tres situaciones distintas entre las afecciones a puntos de agua, en general:

- Aquellos que serán arrasados o destruidos por la propia ejecución de las obras, al encontrarse dentro del perímetro de emboquilles de túneles, desmontes o estructuras auxiliares como accesos, terraplenes, etc.
- Aquellos cuyas cotas freáticas o de surgencia se encuentran aproximadamente por encima de las de rasante del túnel que intercepte su mismo tubo de flujo. Esta situación afecta al entorno inmediato del perímetro del túnel en cuestión. Se corresponde con las zonas donde se produce el rebaje freático entre el escenario actual y el que se ocasionará con las descargas a través de la estructura, como elemento integrado dentro del sistema de flujo subterráneo, pasando de Zona saturada a Zona no saturada.
- Aquellos cuyas cotas freáticas o de surgencia se encuentran por debajo de las de rasante del túnel. Esta situación se dará únicamente en la región aguas abajo del túnel (según el flujo subterráneo) y a una distancia más alejada de la traza, en su perpendicular. Si bien estos puntos no se agotarán completamente, sus caudales o niveles pueden verse rebajados de forma importante.

Las medidas de mitigación a emprender en cualquiera de estos casos, estarían encaminadas a lo siguiente:

- Reposición de captaciones para abastecimiento humano.
- Reposición de captaciones para otros usos (abrevaderos, riego, áreas de recreo, etc.).
- Reposición de cauces fluviales para garantizar, al menos, los caudales ecológicos.

9.1.2.1. Perforación de nuevos pozos

Se trataría de la perforación de pozos o sondeos de gran diámetro hasta alcanzar el nuevo nivel freático (una vez alcanzado el régimen permanente en la depresión ocasionada por el drenaje de los túneles). Estas perforaciones habrán de profundizarse hasta garantizar un suministro de agua suficiente para cubrir las necesidades de abastecimiento antaño cubiertas. Asimismo, deberán acondicionarse con entubación adecuada y dotarse de grupos de bombeo e impulsión, de forma que estén listas para su uso.

Esta medida resulta válida en el caso de suplir pozos agotados dedicados a abastecimiento público o privado, así como en el caso de fuentes o manantiales captados. La potabilización del agua se efectuará con arreglo a la legislación existente al respecto.

9.1.2.2. Reperforación de pozos existentes

De forma alternativa, en el caso de algunas captaciones subterráneas, podría caber la posibilidad de reperforar la perforación existente hasta una profundidad suficiente para garantizar el aporte de agua necesario. Como en el caso anterior, deberá procederse a su entubación y acondicionamiento, y dotarse de grupos de bombeo e impulsión, de forma que estén listas para su uso.

La potabilización del agua se efectuará con arreglo a la legislación existente al respecto.

9.1.2.3. Captación de manantiales no afectados

Otra posibilidad es la captación de nuevos manantiales fuera del área de influencia de la afección. En este caso, deberá encerrarse el área de surgencia dentro de un perímetro de protección (según las disposiciones al respecto de perímetros de protección para captaciones de aguas para uso potable), que puede incluir o no la construcción de una caseta. Asimismo, hay que contemplar también la traída de aguas a la o las poblaciones a abastecer.

En algunos casos puede resultar necesario el tratamiento previo de las aguas para garantizar su potabilidad.

9.1.2.4. Reinyección de caudales drenados – Recarga de acuíferos

Por lo que respecta a la mitigación de la depresión freática o piezométrica susceptible de producirse a causa del drenaje del túnel, una posible remediación parcial sería la recirculación del caudal saliente por los emboquilles de la estructura y la reinyección del mismo (o parte del mismo) nuevamente al medio acuífero. No obstante, estas labores habrían de acometerse de acuerdo a la legislación y normativa vigentes, específica de recarga artificial de acuíferos.

En estos casos, habría que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Calidad de las aguas. La normativa presenta exigencias muy definidas al respecto, por lo que resultaría necesario un riguroso tratamiento previo del agua a inyectar.
- Depuración de las aguas previamente a su inyección en el terreno. Dicho tratamiento ha de adecuarse a los objetivos de calidad fijados en la normativa.
- Instalaciones de recarga.
- Captación de los caudales desde las bocas del túnel y su traída a las zonas de reinyección.
- Seguimiento periódico de la calidad de agua inyectada.

9.1.2.5. Aprovechamiento de los caudales drenados

Otra posibilidad es el aprovechamiento de los caudales drenados para regadío, abastecimiento ganadero e incluso público, así como su posible recirculación hacia cauces fluviales para mitigar los posibles flujos perdidos por descolgamiento del acuífero que los alimentaba.

Menos probable, aunque posible, es la utilización de los caudales para la obtención de energía, en el caso de que sus características físico-químicas lo permitan. En este sentido, si se contempla una posible utilización geotérmica de los mismos, habría que acometer primeramente un estudio específico al respecto.

En cualquiera de estos casos, habrá que tener en cuenta la legislación y normativa sobre reutilización de aguas, así como la referente a vertidos. En este sentido, resulta muy probable la necesidad de someter estos caudales a un tratamiento de depuración y/o potabilización.

9.1.2.6. Canalización e Impermeabilización de cauces

En los casos en que se observen cauces menores claramente perdedores de flujo hacia el terreno (debido al descolgamiento de los niveles freáticos) resulta posible una impermeabilización de

ciertos tramos de su cauce, si bien esta medida (en caso de no ejecutarse correctamente) puede causar problemas de sifonamientos y colapsos por pipping en las inmediaciones del vaso tratado.

La impermeabilización ha de ejecutarse contemplando la sección mojada que llevaría el cauce en época de aguas altas y en situaciones extraordinarias, con objeto de que en ningún caso el agua circulante rebase la canalización.

En estos casos, habría que llevar a cabo igualmente un estudio de caudales en los cauces susceptibles a tratar, con un seguimiento foronómico de los mismos, previamente a la ejecución de las obras (al menos 1 año hidrológico) y durante las mismas.

9.2. Medidas de Seguimiento

A continuación se proponen una serie de medidas que permitirán adquirir los datos necesarios para caracterizar la evolución que interacción de entre el túnel y el medio acuífero. Como en el caso anterior, se ha discriminado entre las medidas que permiten controlar tanto la piezometría en el entorno del túnel, como la afluencia de caudales en su interior (seguimiento en profundidad), y las que permiten seguir la progresión de las posibles afecciones (o no afecciones) a elementos hidrogeológicos superficiales (manantiales, fuentes, captaciones, etc.).

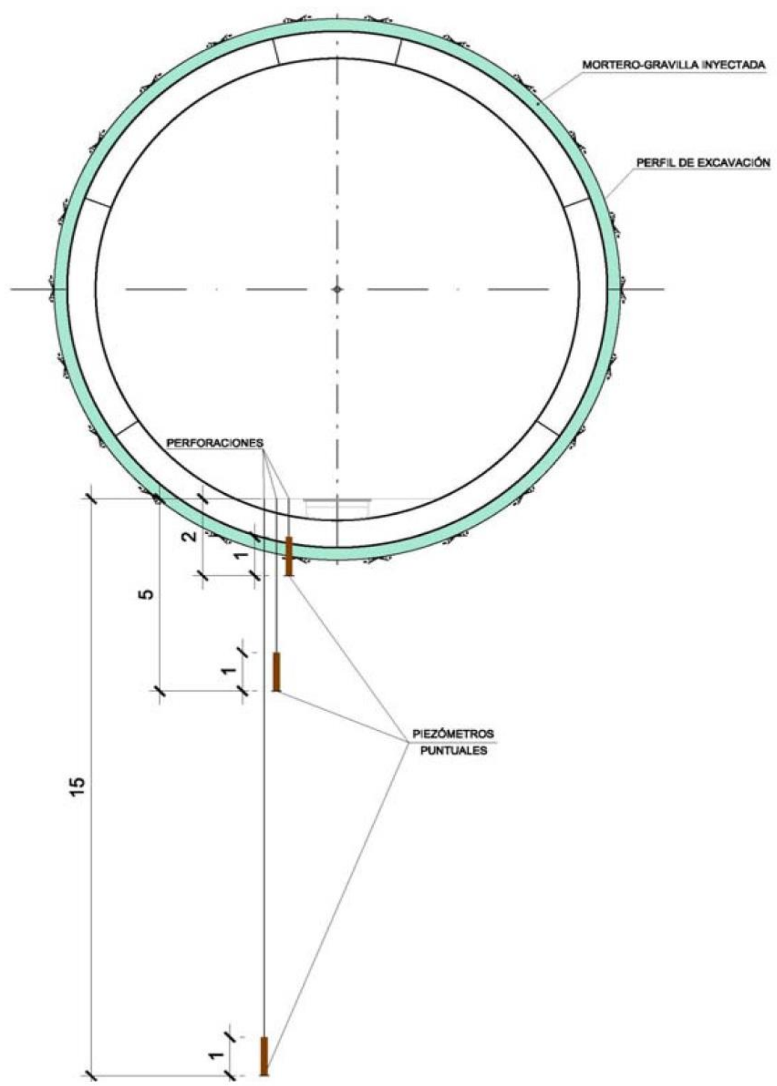
9.2.1. Medidas de Seguimiento en el interior de los túneles

9.2.1.1. Secciones de Control Piezométrico (SCP)

El incremento de presión hidrostática en el interior de un túnel puede ser muy rápido, según nos alejamos del sostenimiento, debido al fuerte gradiente hidráulico que puede llegar a provocar el propio drenaje inducido por la estructura. Con el objeto de conocer la distribución del potencial hidráulico en el entorno de ésta, se propone la instalación una serie de secciones de control piezométrico (SCP) a lo largo de los distintos tramos perforados. Su situación se habrá de fijar en función de la distribución de los acuíferos definidos, y de las zonas con una problemática hidrogeológica especial.

Cada sección consta de una perforación de reducido diámetro, de profundidad variable (por lo general, escasa), que se lleva a cabo en la plataforma de la pieza de base actual del túnel. En el interior de dicha perforación pueden instalarse uno o varios sensores de cuerda vibrante a distintas cotas. Tras el emplazamiento del sensor y el cable dentro de la perforación, ésta se sella inyectándola completamente con lechada. La instrumentación automática instalada permite registrar las presiones hidrostáticas experimentadas a cota de túnel, determinando la situación de los niveles piezométricos.

De forma genérica, en cada sección se propone la instalación de 3 piezómetros instalados en sendos taladros, perforados a 2 m, 5 m y 15 m de profundidad desde el túnel. Los piezómetros deberán estar conectados hidráulicamente con el terreno de su entorno más próximo (típicamente, 1m a fondo de sondeo), pero convenientemente aislados del resto del terreno atravesado por las perforaciones (piezómetros puntuales). En los casos en los que la presión de agua no sea muy alta, se puede optar por entubarlos y dejarlos abiertos (no sellados), en cuyo caso los taladros deberán contar con una válvula instalada en su emboquille, para poder regular desde el túnel el caudal drenado por los mismos. En el resto de los casos, la mejor solución es hacer piezómetros sellados.



Esquema de la disposición de sensores de cuerda vibrante en una SCP. Fuente: Estudio Hidrogeológico del entorno de los Túneles de Pajares. Ineco, 2008.

9.2.1.2. Secciones de Control de Aforo (SCA)

Su objetivo es el de permitir cuantificar el caudal aportado a los túneles de forma particular en tramos concretos, coincidentes con acuíferos determinados o con zonas identificadas como de flujo preferente. Ello se hace mediante un balance de caudal entre dos secciones (aforo diferencial), ubicadas antes y después del tramo en cuestión. Las secciones de aforo se situarán cerca de los límites de los sistemas acuíferos, pero siempre en las formaciones geológicas de menor permeabilidad que los flanquean, con el objeto de que la impermeabilización del trasdós del túnel en las secciones sea lo más efectiva posible.

En este sentido, y una vez determinada la ubicación de ambas secciones, es preciso comprobar que el trasdosado del revestimiento se ha tratado correctamente. Si el trasdosado no es correcto, al realizar el control, parte del caudal contabilizado para un determinado tramo se puede infiltrar detrás del revestimiento, y surge de nuevo en otros tramos situados aguas abajo, de modo que se puede contabilizar erróneamente el mismo caudal dos o más veces.

En estos casos, se debe reinyectar un tramo de unos 10 metros, centrado en cada sección de aforo, con el objeto de impedir o minimizar el flujo longitudinal al túnel entre el sostenimiento y el terreno, para que tal flujo circule por la canaleta de la SCA.

Una vez acondicionadas las secciones, será posible la realización de un control foronómico discreto, mediante medidas manuales con micromolinete, o continuo mediante la instalación de dispositivos de medida automática.

En caso de que las medidas se efectúen de forma manual, se aconseja realizar periódicamente campañas de aforos diferenciales en las diferentes SCA, con una frecuencias similar a la que se establezca en el Seguimiento del medio acuífero (ver apartado siguiente), con el objeto de la magnitud de las descargas procedente de los distintos niveles acuíferos atravesados sean comparables con las variaciones de nivel y caudal registrados en superficie. En el caso de acuíferos kársticos, dada la inminencia de las recargas, se aconseja que las campañas se efectúan coherentemente, si resulta posible, de forma inmediata a eventos pluviométricos discretos.

9.2.2. Medidas de Seguimiento en el medio acuífero

Una vez se hayan ejecutado las fases 1 y 2 (en su caso) de los estudios hidrogeológicos recomendados en el apartado 3.6 del anejo de Geología y Geotecnia, será posible la cuantificación de la banda de afección a ambos lados del túnel. Conocido este aspecto, los elementos hidrogeológicos superficiales que se hallen dentro de esta área son susceptibles de sufrir una afección total o parcial a sus niveles y/o caudales.

En este sentido, se recomiendan las siguientes actuaciones para realizar un seguimiento del progreso (o no) de la posible afección:

- Instrumentación de fuentes y manantiales.
- Instrumentación de sondeos, piezómetros, pozos.
- Seguimiento climático.

Estos trabajos quedarían enmarcados en el seguimiento correspondiente a la fase 3 de los estudios hidrogeológicos propuestos.

9.2.2.1. Instrumentación de Fuentes, manantiales y cauces fluviales menores

Con objeto de hacer un seguimiento de los caudales drenados o circulantes, se propone la instalación de secciones prefabricadas, de distintos tipos, que permitan la canalización de un corto tramo de agua. Ello permite una geometría controlada de la sección húmeda que posibilita el cálculo del caudal en cata instante.

Esta actuación puede complementarse con la instalación de una instrumentación adecuada que registre periódicamente otros parámetros (como la altura de la lámina de agua) igualmente necesarios para el cálculo del caudal (una vez fijada la sección). Otra opción es su medida manual.

En cada caso se habría de escoger la opción de canalización más ventajosa. Así, por ejemplo, en los manantiales captados para abastecimiento (frecuentemente encerrados en casetas protegidas para evitar la contaminación) habría que controlar, por un lado, la deriva de caudal hacia la población. Esto resulta relativamente sencillo, mediante un contador o un caudalímetro instalado en la propia tubería. Por otro, es necesario controlar también el sobrante. En algunos casos basta con instalar una chapa metálica con una abertura en forma de “V” o de “U” para conformar un vertedero de sección conocida. En otros casos, es posible instalar un canal prefabricado del tipo RBC que puede instalarse en el exterior de la caseta o en su interior (dada su corta longitud).

Cuando el seguimiento de los caudales ha de efectuarse en cauces fluviales de escasa entidad (de los que se sospeche una posible desconexión hidráulica del medio acuífero por el rebaje de los niveles) o puntos de surgencia no captados, cabe la posibilidad de instalar secciones acanaladas abiertas tipo Parshall. Existe en el mercado una amplia gama de canales prefabricados con diferentes longitudes y secciones, aunque también puede ejecutarse de obra. Este tipo de canalizaciones garantiza un régimen laminar en su extremo de salida, donde se dispondría la instrumentación de registro o se realizarían las medidas manuales.

9.2.2.2. Instrumentación de sondeos, piezómetros y pozos

En caso de sondeos y piezómetros ejecutados dentro de algún estudio técnico ex profeso para la LAV, y una vez se haya determinado su representatividad, puede llevarse en ellos un registro periódico de la profundidad de los niveles freáticos. Una opción es la medida manual y periódica mediante un hidronivel al uso, con el gasto de periódico de desplazamiento de personal que requiere. No obstante, cabe la posibilidad de introducir un sensor de registro continuo en su interior. Éste se suspende de un cable a una profundidad adecuada, de forma que queda siempre sumergido independientemente de las variaciones del nivel del agua. En este caso, se recomienda dotar a las perforaciones de una tapa con cerramiento (p. e. candado), algo mejor que las habituales tapas metálicas, para evitar la vandalización de la instrumentación.

Si se opta por esta posibilidad, es preciso recordar que, de igual forma que se mide la profundidad del nivel (o la altura de columna de agua sobre el sensor), es necesario obtener también datos de presión atmosférica, puesto que el posterior procesado de los registros requerirá de una corrección con respecto a éste parámetro.

Existe en el mercado una amplia gama de sensores de registro de niveles: unos incorporan el datalogger en el propio sensor, por lo que admite un cableado más corriente; en otros, el registrador se instala en superficie y el sensor transmite las lecturas mediante una cable especial. Por lo que respecta a las medidas barométricas, gran parte de la instrumentación incorpora ya un sensor específico; en otros casos, el sensor barométrico se adquiere de forma independiente, aunque el propio software de configuración permite programarlo solidariamente con el registrador de nivel.

Cuando se trata de pozos perforados para otros usos (abastecimiento, regadío, etc.), suelen estar ya protegidos en una caseta. No obstante, en estos casos es frecuente la instalación de un sistema de bombeo, lo que requiere guardar las debidas precauciones a fin de que la succión de ésta no desprenda el sensor a instalar.

9.2.2.3. Seguimiento climático

La caracterización de las variaciones de nivel y caudal no puede considerarse completa si no se compara con las variaciones de precipitación, puesto que la recarga natural de los acuíferos identificados se efectúa por infiltración de agua de lluvia. La disponibilidad de estos datos permitirá discriminar qué variaciones corresponden a un comportamiento natural del acuífero (recargas y estiajes) y qué variaciones pueden deberse al drenaje ocasionado por un determinado túnel. Por su parte, los datos de temperatura contribuirían (llegado el caso) a la realización de un posible balance hidrometeorológico.

La frecuencia de los registros de precipitación y temperatura habrá de ser coherente con la frecuencia de medida de niveles y caudales en el seguimiento hidrogeológico; es decir, si la periodicidad de las medidas es semanal o quincenal (inferior a mensual, en definitiva), los datos climáticos que se obtengan habrán de ser diarios.

La adquisición de datos puede realizarse a partir de la Red de que dispone AEMET u otros Organismos oficiales (tales como DGT, Autonomías, etc.), en el caso de que se compruebe que alguna de las estaciones se halla cerca del ámbito de la obra. En caso contrario, cabe la posibilidad de instalar una estación propia dentro de la zona.

En cuanto a la longitud de las series temporales, si al información proviene de Organismos oficiales se precisa un lapso de tiempo lo más amplio posible (recomendable más de 30 años), con objeto de posibilitar un análisis y clasificación del año hidrológico en que se realiza el estudio. En el caso de contar con datos propios, independientemente a éstos, resulta recomendable adquirir igualmente los datos de las estaciones oficiales más cercanas (con registro histórico) para efectuar el citado análisis.

10. AUSCULTACIÓN

El presente apartado tiene como objeto servir de base para el desarrollo del futuro Plan de Auscultación que deberá quedar definido en fases posteriores, adaptándolo en detalle a la construcción de la obra.

La auscultación tiene como finalidad controlar los movimientos de las estructuras así como el comportamiento de los terrenos anejos, durante las distintas fases de construcción.

Para cumplir tales objetivos se instalarán los instrumentos y sistemas de auscultación que, en cada momento, informen de las reacciones con las que el terreno, estructuras e instalaciones, responden a las distintas fases constructivas que se lleven a cabo.

10.1. MAGNITUDES A CONTROLAR E INSTRUMENTOS

En el caso del trazado propuesto, las distintas magnitudes a controlar serían las siguientes:

- *Comportamiento estructural del revestimiento del túnel.* Para ello se instalarán secciones instrumentadas formadas por células de presión en clave y contrabóveda, y extensómetros de cuerda vibrante. Llevarán asociadas una sección de convergencias formada por 5 puntos de control, uno en clave y dos en cada hastial para el seguimiento de las deformaciones del terreno sobre el túnel.
- *Movimientos en el terreno.* El control de los movimientos en el terreno en profundidad se realizará mediante la instalación de extensómetros de varillas desde el interior del túnel, sobre todo en las zonas de peor calidad geotécnica, para verificar las condiciones de estabilidad del terreno circundante. También se instalarán inclinómetros para comprobar si se están produciendo movimientos horizontales que puedan generar subsidencias en el entorno, sobre todo si existen estructuras próximas al túnel. Los movimientos del terreno en superficie se controlarán mediante la instalación de hitos de nivelación que serán controlados mediante topografía de precisión.
- *Movimientos en los edificios o estructuras existentes.* El control de los movimientos que sufran los edificios o estructuras existentes durante la excavación será de importancia vital, por la repercusión social y económica que puede suponer la aparición de desperfectos en los mismos a causa de la subsidencia. Los parámetros fundamentales a controlar serán:
  - Movimientos verticales, mediante la instalación de regletas en fachada.
  - Giros, mediante la instalación de desplomes.
  - Evolución del tamaño de grietas, ya sean existentes o de nueva aparición.
- *Nivel freático.* Las variaciones en el nivel freático, sobre todo cuando se producen depresiones del mismo, originará un cambio de volumen en el suelo, que se suele manifestar en forma de movimientos verticales en la superficie (subsidencias). Para controlar las variaciones del nivel freático se instalarán piezómetros.

A continuación se expone un cuadro resumen con las magnitudes que serán controladas y los instrumentos que se emplearán para ello:

	MAGNITUDES A CONTROLAR	SENSORES
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL REVESTIMIENTO DEL TÚNEL	Esfuerzos en el revestimiento-sostenimiento.	Células de presión total.
	Deformaciones del revestimiento-sostenimiento.	Extensómetros de cuerda vibrante.
	Empuje del terreno sobre el revestimiento-sostenimiento.	Pernos de convergencia.

MOVIMIENTOS DEL TERRENO	Movimientos en profundidad del terreno.	Extensómetros de varillas Inclinómetros
	Movimientos en superficie	Verticales: Hitos de nivelación
MOVIMIENTOS EN EDIFICIOS O ESTRUCTURAS EXISTENTES	Movimientos verticales	Regletas de nivelación
	Movimientos de giro	Desplomes
	Evolución de fisuras	Fisurómetros
NIVEL FREÁTICO	Variaciones del nivel freático	Piezómetros

10.2. SECCIONES DE INSTRUMENTACIÓN

10.2.1. Túnel convencional

Durante la excavación con métodos convencionales, se propone la instalación se secciones de instrumentación en túnel (ST) formadas por los siguientes dispositivos:

- 3 Células de presión en bóveda y 3 en contrabóveda
- 6 Extensómetros de cuerda vibrante doble (trasdós e intradós) junto con las células de presión
- 5 Pernos de convergencia combinados (miniprisma+perno), uno en clave y dos en cada hastial.

Cuando las condiciones geotécnicas sean peores, como por ejemplo en las zonas de falla, y siempre que se emplee el sostenimiento tipo IV, se hará coincidir al menos una de estas secciones, a la cual podrá añadírsele una sección de extensómetros de varillas. De esta forma se obtiene una sección de instrumentación en túnel intensificada (STI) que permitirá tener un conocimiento exhaustivo de las condiciones del túnel y del terreno circundante.

A lo largo de la excavación de todo el túnel se dispondrán secciones de convergencias cada 25 metros formadas por 5 puntos de control, uno en clave y dos en cada hastial (SC).

Cuando sea necesario emplear el sostenimiento tipo IV, las secciones de convergencias de dispondrán cada 10 metros durante todo el tramo afectado por dicho sostenimiento.

La ubicación exacta de las secciones de convergencias y secciones intensificadas se realizará según el avance de obra y en función de la calidad de los materiales encontrados durante la excavación.

10.2.2. Edificios y estructuras existentes

Por norma general, se colocarán regletas en los edificios más próximos, así como en los que estén en la cubeta de asientos, o tengan alturas elevadas. Además, para medir el desplome que puedan sufrir, se instalarán dos miniprismas en la vertical.

En el caso de fisuras existentes o de nueva aparición, se instalarán fisurómetros de control para medir la evolución de las mismas durante la obra.

10.3. Definición de umbrales y frecuencias

Atendiendo al criterio de movimientos admisibles, se clasifican los niveles de riesgo de cara a establecer la frecuencia de lecturas de los instrumentos y para considerar las posibles medidas de actuación. Tanto los umbrales como las frecuencias quedarán definidos en fases posteriores a este estudio informativo, siendo de carácter orientativo la clasificación que se muestra a continuación:

NIVEL DE RIESGO	TÚNEL/ESTRUCTURAS EN EJECUCIÓN	EDIFICIOS/INFRAESTRUCTURAS EXISTENTES	MOVIMIENTO DEL TERRENO(SECCIONES INSTRUMENTADAS)
VERDE	La excavación está estabilizada	Los movimientos inducidos en edificaciones y servicios no superan el umbral menos restrictivo.	El terreno se comporta según los previsto y los movimientos medidos son aceptables
ÁMBAR	La excavación no se comporta según lo previsto, pero tiende a la estabilización	Los movimientos inducidos a cota de cimentación que superan el límite establecido, sin alcanzar, en su punto pésimo, los niveles de deformación equivalentes al umbral “rojo”.	Los movimientos medidos sobrepasan los valores aceptables, pero tienden a estabilizarse
ROJO	La situación supera los límites considerados como aceptables y la excavación no está estabilizada	Los movimientos inducidos a cota de cimentación superan los establecidos para el umbral "rojo".	Los movimientos medidos sobrepasan los valores aceptables, y no se estabilizan

Definición de niveles de riesgo y alarmas

10.4. MEDIDAS DE ACTUACIÓN

Una vez establecidos los umbrales de control y la frecuencia de lecturas, se deberán prever medidas de actuación en cada caso. A continuación se proponen unos criterios generales, que serán válidos para todos los métodos constructivos y deberán concretarse con la correspondiente aprobación de la Dirección de Obra.

UMBRAL DE CONTROL	MEDIDAS DE ACTUACIÓN
VERDE	Seguir con el control de movimientos establecido por el Plan de Auscultación de la Obra.
AMBAR	Incrementar la frecuencia de lecturas evaluando la situación a partir de la velocidad de variación del parámetro registrado. Efectuar una inspección visual somera. Continuar con el proceso de ejecución de las obras según lo previsto.
ROJO	Establecer un análisis específico de la situación, instalando instrumentación complementaria si fuera preciso. Revisión del proceso constructivo para introducir modificaciones en el mismo, si es posible. Valorar la necesidad de introducir medidas correctoras, refuerzo o protección de las estructuras o elementos afectados.

Medidas de actuación según los umbrales de control

10.5. TRATAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y ELABORACIÓN DE INFORMES

Los resultados de la auscultación serán incorporados diariamente y a medida que se vayan generando, a las bases de datos u hojas de cálculo correspondientes para su procesado inmediato y almacenamiento, de manera que en cualquier momento puedan ser consultados.

Una vez analizada dicha información, se emitirá un informe con la periodicidad definida en el Plan de Auscultación que recogerá toda la información actualizada hasta la fecha de emisión del informe y con los datos a origen.

Esta información se emitirá en forma de tablas y gráficas, y deberá ir acompañada de una valoración de los resultados en relación a los umbrales de control. Además, y junto a los resultados, deberán adjuntarse unos planos donde se defina la situación de la instrumentación, y esquemas relativos al avance de las obras.

11. SEGURIDAD EN TÚNELES

Las normas aplicadas en España en relación con la seguridad en los túneles ferroviarios son:

- La Especificación Técnica de Interoperabilidad relativa a «la seguridad en los túneles ferroviarios» del sistema ferroviario transeuropeo convencional y de alta velocidad.
- Borrador de la Instrucción para el proyecto y construcción del subsistema de Infraestructura Ferroviaria (IFI-2011)

El enfoque de la normativa en vigor, incluyendo la ETI «Seguridad en los túneles ferroviarios» se refiere ante todo a la protección de las vidas humanas. Establece una serie de medidas que permiten evacuar a los pasajeros en condiciones de seguridad adecuadas en caso de incidente, así como el acceso a los servicios de emergencia.

La resistencia al hundimiento de la infraestructura está por lo tanto dimensionada tanto para asegurar la evacuación de los pasajeros y del personal como también el acceso a los servicios de emergencia.

A continuación se indica cada una de las características necesarias a tener por cada uno de los aspectos relacionados anteriormente. Se señala el artículo de la mencionada **ETI de Seguridad en Túneles** que hace referencia a cada aspecto:

Art. 4.2.1.1.Prevención del acceso no autorizado a las salidas de emergencia y a las salas técnicas: Esta especificación se aplicará a todos los túneles.

a) Se debe impedir el acceso no autorizado a las salas técnicas.

b) Cuando se bloqueen las salidas de emergencia por motivos de seguridad, debe garantizarse que siempre se puedan abrir desde dentro.

Art. 4.2.1.2. Resistencia al fuego de las estructuras del túnel: Esta especificación se aplicará a todos los túneles:

a) Esta especificación se aplica a los productos y materiales de construcción del interior de los túneles.

b) El material de construcción del túnel cumplirá los requisitos de la clase A2 de la Decisión 2000/147/CE de la Comisión. Los paneles no estructurales y demás equipamiento cumplirán los requisitos de la clase B de la Decisión 2000/147/CE de la Comisión.

c) Se enumerarán los materiales que no contribuyan significativamente a una carga de fuego. Dichos materiales no están obligados a cumplir con lo anteriormente mencionado.

Art. 4.2.1.3. Reacción al fuego de los materiales de construcción: Esta especificación se aplica a todos los túneles:

a) Esta especificación se aplica a los productos y materiales de construcción del interior de los túneles.

b) El material de construcción del túnel cumplirá los requisitos de la clase A2 de la Decisión 2000/147/CE de la Comisión. Los paneles no estructurales y demás equipamiento cumplirán los requisitos de la clase B de la Decisión 2000/147/CE de la Comisión.

c) Se enumerarán los materiales que no contribuyan significativamente a una carga de fuego. Dichos materiales no están obligados a cumplir con lo anteriormente mencionado.

Art. 4.2.1.4. Detección de incendios en las salas técnicas: Esta especificación se aplicará a túneles de más de 1 km de longitud. Las salas técnicas estarán equipadas con detectores que alerten al administrador de la infraestructura en caso de incendio.

Art. 4.2.1.5.1. Zona Segura: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

a) Una zona segura permitirá la evacuación de los trenes que utilicen el túnel. Tendrá una capacidad acorde con la capacidad máxima de los trenes que se prevea que circulen en la línea donde se localiza el túnel.

b) La zona segura garantizará condiciones de supervivencia para pasajeros y personal del tren durante el tiempo necesario para realizar una evacuación completa desde la zona segura hasta el lugar seguro final.

c) En caso de zonas seguras subterráneas o submarinas, las instalaciones permitirán que las personas se desplacen desde la zona segura hasta la superficie sin tener que volver a entrar en el tubo afectado del túnel.

d) El diseño de una zona segura y su equipamiento deberá tener en cuenta el control de humos para, en particular, proteger a las personas que utilicen las instalaciones de auto-evacuación.

Art. 4.2.1.5.2 Acceso a la zona segura: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

a) Las zonas seguras serán accesibles para las personas que inicien la auto-evacuación desde el tren así como para los servicios de intervención en emergencias.

b) Se elegirá una de las siguientes soluciones para el acceso desde el tren hasta la zona segura:

1) salidas de emergencia a la superficie laterales y/o verticales. Deberá haber este tipo de salidas, como mínimo, cada 1.000 m;

2) galerías de conexión transversales entre tubos independientes y contiguos del túnel que permitan utilizar el tubo contiguo del túnel como zona segura. Deberán disponerse estas galerías transversales, como mínimo, cada 500 m;

3) se permiten soluciones técnicas alternativas que proporcionen una zona segura con un nivel de seguridad, como mínimo, equivalente. El nivel de seguridad equivalente para pasajeros y personal del tren se verificará mediante el método común de seguridad para la evaluación del riesgo.

c) Las puertas de acceso desde el pasillo de evacuación a la zona segura tendrán una abertura libre de al menos 1,4 m de ancho por 2 m de alto. De manera alternativa, se permite utilizar múltiples puertas contiguas de menor anchura siempre que se verifique que la capacidad total de paso de personas es equivalente o superior.

d) Una vez atravesadas las puertas, la abertura libre deberá seguir siendo de al menos 1,5 m de ancho por 2,25 m de alto.

e) Se describirá en el plan de emergencia el modo en que los servicios de intervención en emergencias accederán a la zona segura.

Art. 4.2.1.5.3. Medios de comunicación en zonas seguras: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud. La comunicación será posible, bien por teléfono móvil, bien mediante conexión fija, entre las zonas seguras subterráneas y el centro de control del administrador de la infraestructura.

Art. 4.2.1.5.4. Alumbrado de emergencia en las rutas de evacuación: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 0,5 km de longitud.

a) Se instalará alumbrado de emergencia para guiar a los pasajeros y al personal del tren hacia una zona segura en caso de emergencia.

b) La iluminación deberá cumplir los siguientes requisitos:

1) en tubo de vía única: en el lado del pasillo de evacuación;

2) en tubo de vías múltiples: en ambos lados del tubo;

3) posición de las luces:

- Por encima del pasillo de evacuación, lo más bajo posible, y de forma que no interrumpan el espacio libre para el paso de personas, o bien integradas en los pasamanos;
  - la iluminancia deberá mantenerse en el tiempo en al menos 1 lux en cualquier punto del plano horizontal a nivel del pasillo.

c) Autonomía y fiabilidad: deberá disponerse de un suministro eléctrico alternativo durante un período de tiempo apropiado tras la interrupción del suministro eléctrico principal. El tiempo requerido deberá adecuarse a los escenarios de evacuación y estar definido en el plan de emergencia.

d) Si las luces de emergencia se desconectan en condiciones normales de funcionamiento, será posible encenderlas por los dos medios siguientes:

1) manualmente desde el interior del túnel a intervalos de 250 m;

2) por el explotador del túnel mediante control remoto.

Art.4.2.1.5.5. Señalización de evacuación: Esta especificación se aplica a todos los túneles.

a) La señalización de la evacuación indicará las salidas de emergencia, la distancia a la zona segura y la dirección hacia esta.

b) Todas las señales se ajustarán a las disposiciones de la Directiva 92/58/CEE, de 24 de junio de 1992, relativa a las disposiciones en materia de señalización de seguridad y de salud en el trabajo y a lo especificado en el apéndice A, índice no 1.

c) Las señales de evacuación se instalarán en los hastiales a lo largo de los pasillos de evacuación.

d) La distancia máxima entre las señales de evacuación será 50 m.

e) Se instalarán señales en el túnel para indicar la posición del equipamiento de emergencia, en los lugares donde esté situado dicho equipamiento.

f) Todas las puertas que conduzcan a salidas de emergencia o galerías de conexión transversal estarán señalizadas.

Art. 4.2.1.6. Pasillos de evacuación: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 0,5 km de longitud.

a) Se construirán pasillos de evacuación en los túneles de vía única, como mínimo, a un lado de la vía, y en los túneles de vías múltiples, a ambos lados del túnel. En los túneles con más de dos vías, será posible el acceso a un pasillo de evacuación desde cada vía.

1) La anchura del pasillo de evacuación será de al menos 0,8 m.

2) La altura libre mínima por encima del pasillo de evacuación será de 2,25 m.

3) La altura del pasillo estará al nivel de la parte superior del carril o incluso más alto.

4) Se evitarán estrechamientos locales provocados por obstáculos dentro del gálibo de evacuación. La presencia de obstáculos no reducirá la anchura mínima a menos de 0,7 m y la longitud del obstáculo no superará los 2 m.

b) Se instalarán pasamanos continuos entre 0,8 m y 1,1 m por encima del pasillo que marquen el rumbo hacia una zona segura.

1) Los pasamanos se colocarán fuera del gálibo libre mínimo del pasillo de evacuación.

2) Los pasamanos formarán un ángulo entre 30° y 40° respecto al eje longitudinal del túnel a la entrada y a la salida del obstáculo.

Art. 4.2.1.7. Puntos de lucha contra incendios: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

a) A los efectos de la presente cláusula, dos o más túneles consecutivos serán considerados como un túnel único, a menos que se cumplan las dos condiciones siguientes:

1) la separación a cielo abierto entre ellos supere en más de 100 m la longitud máxima del tren que vaya a circular en la línea, y

2) el área a cielo abierto alrededor de la vía y su situación respecto de esta, en el tramo de separación entre los dos túneles, permiten a los pasajeros alejarse del tren hacia un espacio seguro. El espacio seguro deberá tener un tamaño suficiente para acoger a todos los pasajeros correspondientes al tren de mayor capacidad que se prevea que va a circular por la línea.

b) Se crearán puntos de lucha contra incendios:

1) fuera de ambas bocas de todos los túneles de menos de 1 km, y

2) dentro del túnel, según la categoría del material rodante previsto para circular, tal y como se resume en el siguiente cuadro:

Longitud del túnel	Categoría del material rodante con arreglo al apartado 4.2.3	Distancia máxima desde las bocas hasta un punto de lucha contra incendios y entre dos de ellos
1 a 5 km	Categoría A o B	No se requiere ningún punto de lucha contra incendios
5 a 20 km	Categoría A	5 km
5 a 20 km	Categoría B	No se requiere ningún punto de lucha contra incendios
más de 20 km	Categoría A	5 km
más de 20 km	Categoría B	20 km

c) Requisitos para todos los puntos de lucha contra incendios:

1) los puntos de lucha contra incendios estarán equipados con suministro de agua (de al menos 800 l/min durante dos horas) cerca de los puntos previstos para la detención del tren. El método de suministro del agua se describirá en el plan de emergencia;

2) se deberá indicar al maquinista del tren el punto previsto para la detención del tren. Esto no requerirá equipamiento específico a bordo (todos los trenes que cumplan la presente ETI podrán usar el túnel);

3) los puntos de lucha contra incendios serán accesibles a los servicios de intervención en emergencias. En el plan de emergencia se describirá la forma en que los servicios de intervención en emergencias accederán al punto de lucha contra incendios y desplegarán el equipo;

4) se podrá interrumpir la alimentación eléctrica de tracción y poner a tierra la instalación eléctrica en los puntos de lucha contra incendios, ya sea de forma presencial o por control remoto.

d) Requisitos de los puntos de lucha contra incendios situados fuera de las bocas del túnel. Además de los requisitos descritos en la cláusula 4.2.1.7, letra c), los puntos de lucha contra incendios fuera de las bocas del túnel cumplirán las siguientes condiciones:

1) La zona a cielo abierto en torno al punto de lucha contra incendios dispondrá de una superficie de al menos 500 m².

e) Requisitos de puntos de lucha contra incendios dentro del túnel. Además de los requisitos descritos en la cláusula 4.2.1.7, letra c), los puntos de lucha contra incendios dentro del túnel cumplirán las siguientes condiciones:

1) se podrá acceder a una zona segura desde el punto de detención del tren. En las dimensiones de la ruta de evacuación hacia la zona segura se deberá considerar el tiempo de evacuación (según lo especificado en la cláusula 4.2.3.4.1) y la capacidad prevista de los trenes (mencionada en la cláusula 4.2.1.5.1) que vayan a circular por el túnel. Se deberá demostrar que el tamaño de la ruta de evacuación resulta adecuado;

2) la zona segura asociada con el punto de lucha contra incendios tendrá una superficie suficiente para que los pasajeros esperen de pie hasta ser evacuados a una zona segura final;

3) existirá un acceso al tren afectado para los servicios de intervención en emergencias sin que tengan que atravesar la zona segura ocupada;

4) el diseño del punto de lucha contra incendios y de su equipamiento deberá tener en cuenta el control de humos para, en particular, proteger a las personas que utilicen las instalaciones de auto-evacuación para acceder a la zona segura.

Art. 4.2.1.8. Comunicaciones de emergencia: Esta especificación se aplica a todos los túneles de más de 1 km de longitud.

a) Deberá haber comunicación por radio entre el tren y el centro de control del administrador de la infraestructura en cada túnel, mediante GSM-R.

Asimismo, tendrá que haber continuidad por radio para que los servicios de intervención en emergencias se comuniquen in situ con sus centros de mando. El sistema permitirá que los servicios de intervención en emergencias puedan usar su propio equipo de comunicación.

12. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LAS ALTERNATIVAS

12.1. COSTES DE SOSTENIMIENTOS

Para realizar la valoración económica se ha establecido una tramificación de los túneles de las distintas alternativas. Esta tramificación se ha realizado en función de las características geológico-geotécnicas del terreno, incluidas en el Anejo 5. Cada tramo lleva asignado una sección tipo de sostenimiento, con su coste por metro lineal. A continuación se muestran una serie de tablas con dichos costes de sostenimiento para cada túnel y alternativa estudiada.

ALTERNATIVA	TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)	RMR	RMR ASIGNADO	TIPO SOSTENIMIENTO	PRECIO m/l	COSTE PARCIAL
AGUILAR OESTE	1.1	80+850	82+500	1.650,00	120	**M1**	80+850	80+950	100,00	30-40	35	**ST-II**	15.873,77 €	1.587.376,62 €
						C8	80+950	81+175	225,00	50-60	55	**ST-I**	11.607,92 €	2.611.782,94 €
						FALLA (*) C8	81+175	81+185	10,00	--	--	**ST-IV**	39.864,99 €	398.649,89 €
						C8	81+185	81+305	120,00	50-60	55	**ST-I**	11.607,92 €	1.392.950,90 €
						C7	81+305	81+405	100,00	30-40	35	**ST-II**	15.873,77 €	1.587.376,62 €
						FALLA (*) C7	81+405	81+415	10,00	--	--	**ST-IV**	39.864,99 €	398.649,89 €
						C7	81+415	82+180	765,00	30-40	35	**ST-II**	15.873,77 €	12.143.431,17 €
						C6	82+180	82+390	210,00	50-60	55	**ST-I**	11.607,92 €	2.437.664,08 €
						C5	82+390	82+500	110,00	35-45	40	**ST-II**	15.873,77 €	1.746.114,29 €
														24.303.996,42 €
	1.2	83+085	83+435	350,00	85	**C5**	83+085	83+335	250,00	35-45	40	**ST-II**	12.564,21 €	3.141.051,29 €
						FALLA (*) K	83+335	83+345	10,00	--	--	**ST-IV**	31.282,73 €	312.827,35 €
						K	83+345	83+355	10,00	25-35	30	**ST-III**	16.550,00 €	165.500,00 €
						J1	83+355	83+435	80,00	40-45	42	**ST-II**	12.564,21 €	1.005.136,41 €
														4.624.515 €
	1.3	83+885	84+025	140,00	85	**J1**	83+885	84+025	140,00	40-45	42	**ST-II**	12.564,21 €	1.758.988,72 €
														1.758.989 €
	1.4	84+245	84+325	80,00	85	**J1**	84+245	84+300	55,00	40-45	42	**ST-II**	12.564,21 €	691.031,28 €
						J2	84+300	84+325	25,00	35-45	40	**ST-II**	12.564,21 €	314.105,13 €
														1.005.136 €
	1.5	84+595	84+875	280,00	85	**J4**	84+595	84+835	240,00	35-45	40	**ST-II**	12.564,21 €	3.015.409,24 €
						FALLA (*) J5	84+835	84+845	10,00	--	--	**ST-IV**	31.282,73 €	312.827,35 €
						J5	84+845	84+875	30,00	45-55	50	**ST-II**	12.564,21 €	376.926,15 €
														3.705.163 €
	1.6	86+130	86+710	580,00	85	**C3**	86+130	86+355	225,00	--	--	**ST-IV**	31.282,73 €	7.038.615,27 €
						FALLA (*) J5	86+355	86+365	10,00	--	--	**ST-IV**	31.282,73 €	312.827,35 €
						J5	86+365	86+407	42,00	45-55	50	**ST-II**	12.564,21 €	527.696,62 €
						C3	86+407	86+710	303,00	--	--	**ST-IV**	31.282,73 €	9.478.668,56 €
														17.357.808 €
	1.7	88+250	89+870	1.620,00	120	**C4**	88+250	88+850	600,00	30-40	35	**ST-II**	15.873,77 €	4.762.129,87 €
						C5	88+850	89+870	1.020,00	35-45	40	**ST-II**	15.873,77 €	20.953.371,43 €
						FALLA (*)	*Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*							**25.715.501 €**

ALTERNATIVA	TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	Sección (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)	RMR	RMR ASIGNADO	TIPO SOSTENIMIENTO	PRECIO m/l	COSTE PARCIAL
AGUILAR ESTE	3.1	79+915	81+845	1.930,00	120	M1	79+915	80+630	715,00	30-40	35	ST-II	15.873,77 €	11.349.743 €
						FALLA (*) C8	80+630	80+640	10,00	--	--	ST-IV	39.864,99 €	398.650 €
						C8	80+640	80+795	155,00	50-60	55	ST-I	11.607,92 €	1.799.228 €
						C7	80+795	80+855	60,00	30-40	35	ST-II	15.873,77 €	952.426 €
						FALLA (*) C5	80+855	80+865	10,00	--	--	ST-IV	39.864,99 €	398.650 €
						C5	80+865	81+845	980,00	35-45	40	ST-II	15.873,77 €	15.556.291 €
														30.454.988 €
	3.2	82+749	82+839	90,00	85	C6	82+749	82+839	90,00	50-60	55	ST-I	9.082,78 €	817.450 €
														817.450 €
	3.3	83+545	83+995	450,00	85	J1	83+545	83+745	200,00	40-45	42	ST-II	12.564,21 €	2.512.841 €
						J2	83+745	83+995	250,00	35-45	40	ST-II	12.564,21 €	3.141.051 €
														5.653.892 €
	3.4	84+435	84+795	360,00	85	FALLA (**) J4	84+435	84+440	5,00	--	--	ST-IV	31.282,73 €	156.414 €
						J4	84+440	84+447	7,00	35-45	40	ST-II	12.564,21 €	87.949 €
						FALLA (**) J4	84+447	84+452	5,00	--	--	ST-IV	31.282,73 €	156.414 €
						J4	84+452	84+457	5,00	35-45	40	ST-II	12.564,21 €	62.821 €
						FALLA (**) J4	84+457	84+462	5,00	--	--	ST-IV	31.282,73 €	156.414 €
						J4	84+462	84+775	313,00	35-45	40	ST-II	12.564,21 €	3.932.596 €
						FALLA (*) C3	84+775	84+785	10,00	--	--	ST-IV	31.282,73 €	312.827 €
						C3	84+785	84+795	10,00	--	--	ST-IV	31.282,73 €	312.827 €
														5.178.262 €
	3.5 (= 1.6)	86+130	86+705	575,00	85	C3	86+130	86+355	225,00	--	--	ST-IV	31.282,73 €	7.038.615 €
						FALLA (*)	86+355	86+365	10,00	--	--	ST-IV	31.282,73 €	312.827 €
						J5	86+365	86+407	42,00	45-55	50	ST-II	12.564,21 €	527.697 €
						C3	86+407	86+705	298,00	--	--	ST-IV	31.282,73 €	9.322.255 €
														17.201.394 €
	3.6 (= 1.7)	88+245	89+865	1.620,00	120	C4	88+245	88+850	605,00	30-40	35	ST-II	15.873,77 €	4.841.499 €
						C5	88+850	89+865	1.015,00	35-45	40	ST-II	15.873,77 €	20.874.003 €
														25.715.501 €

FALLA (*) *Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*

FALLA (**) *Dada la proximidad de las fallas, se asume a cada una potencia, por defecto, de 5 m.*

ALTERNATIVA	TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)	RMR	RMR ASIGNADO	TIPO SOSTENIMIENTO	PRECIO m/l	COSTE PARCIAL
MAVE OESTE	2.1	80+830	82+520	1.690,00	52	M1	80+830	80+960	130,00	30-40	35	ST-II	9.433,46 €	1.226.350 €
						C8	80+960	81+132	172,00	50-60	55	ST-I	6.691,63 €	1.150.960 €
						FALLA (*) C8	81+132	81+142	10,00	--	--	ST-IV	23.180,59 €	231.806 €
						C8	81+142	81+285	143,00	50-60	55	ST-I	6.691,63 €	956.903 €
						C7	81+285	81+352	67,00	30-40	35	ST-II	9.433,46 €	632.042 €
						FALLA (*) C7	81+352	81+362	10,00	--	--	ST-IV	23.180,59 €	231.806 €
						C7	81+362	81+800	438,00	30-40	35	ST-II	9.433,46 €	4.131.856 €
						C6	81+800	82+345	545,00	50-60	55	ST-I	6.691,63 €	3.646.937 €
						C5	82+345	82+520	175,00	35-45	40	ST-II	9.433,46 €	1.650.856 €
														13.859.514 €
	2.2	83+000	83+900	900,00	52	C5	83+000	83+150	150,00	35-45	30	ST-II	9.433,46 €	1.415.019 €
						C6	83+150	83+310	160,00	50-60	55	ST-I	6.691,63 €	1.070.660 €
						FALLA (*) K	83+310	83+320	10,00	--	--	ST-IV	23.180,59 €	231.806 €
						K	83+320	83+335	15,00	25-35	30	ST-II	9.433,46 €	141.502 €
						J1	83+335	83+500	165,00	40-45	42	ST-II	9.433,46 €	1.556.521 €
						FALLA (*) K	83+500	83+510	10,00	--	--	ST-IV	23.180,59 €	231.806 €
						K	83+510	83+527	17,00	25-35	30	ST-II	9.433,46 €	160.369 €
						J1	83+527	83+755	228,00	40-45	42	ST-II	9.433,46 €	2.150.829 €
						J2	83+755	83+845	90,00	35-45	30	ST-II	9.433,46 €	849.011 €
						J3	83+845	83+900	55,00	35-45	30	ST-II	9.433,46 €	518.840 €
														8.326.363 €

FALLA (*) *Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*

ALTERNATIVA	TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	SECCIÓN (m²)	FORMACIÓN	PK INICIO	PK FIN	LONG. (m)	RMR	RMR ASIGNADO	TIPO SOSTENIMIENTO	PRECIO m/l	COSTE PARCIAL
MAVE ESTE	4.1	79+915	81+810	1.895,00	52	**M1**	79+915	80+708	793,00	30-40	35	**ST-II**	9.433,46 €	7.480.734 €
						FALLA (*) C8	80+708	80+718	10,00	--	--	**ST-IV**	23.180,59 €	231.806 €
						C8	80+718	80+830	112,00	50-60	55	**ST-I**	6.691,63 €	749.462 €
						C7	80+830	80+895	65,00	30-40	35	**ST-II**	9.433,46 €	613.175 €
						FALLA (*) C5	80+895	80+905	10,00	--	--	**ST-IV**	23.180,59 €	231.806 €
						C5	80+905	81+810	905,00	35-45	40	**ST-II**	9.433,46 €	8.537.281 €
														17.844.264 €
	4.2	82+740	82+970	230,00	52	**C6**	82+740	82+970	230,00	50-60	55	**ST-I**	6.691,63 €	1.539.074 €
						FALLA (*)	*Se le asume una potencia, por defecto, de 10 m.*							**1.539.074 €**

En base a esta tramificación se han obtenido los siguientes costes finales:

		EXCAVACIÓN + SOSTENIMIENTO
AGUILAR OESTE	1.1	24.303.996,42 €
	1.2	4.624.515 €
	1.3	1.758.989 €
	1.4	1.005.136 €
	1.5	3.705.163 €
	1.6	17.357.808 €
	1.7	25.715.501 €
		78.471.108 €

		EXCAVACIÓN + SOSTENIMIENTO
MAVE OESTE	2.1	13.859.514 €
	2.2	8.326.363 €
		22.185.877 €

		EXCAVACIÓN + SOSTENIMIENTO
AGUILAR ESTE	3.1	30.454.988 €
	3.2	817.450 €
	3.3	5.653.892 €
	3.4	5.178.262 €
	3.5	17.201.394 €
	3.6	25.715.501 €
		85.021.488 €

		EXCAVACIÓN + SOSTENIMIENTO
MAVE ESTE	2.1	17.844.264 €
	2.2	1.539.074 €
		19.383.338 €

Costes de túneles

12.1.1. Costes de galerías de evacuación, emboquilles y falsos túneles

Para obtener el resto de costes se ha calculado también un coste medio por metro lineal de galería vehicular y falsos túneles, y un coste medio por unidad de emboquille, tanto del túnel principal como de las galerías de evacuación. Se han supuesto 50 m de falsos túneles en todos los emboquilles excepto en aquellos en los que por falta de espacio se ha bajado a 25 m. En la siguiente tabla se muestran los resultados para los distintos túneles y alternativas estudiadas.

ALTERNATIVA	TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	Falso túnel					Emboquille			Emboquilles galerías			Galerías evacuación	PK Inicio	PK Fin	Longitud (m)	Coste m/l	Coste parcial
					Longitud	nº	Longitud total	Precio m/l	Coste parcial	nº	Precio Tratamiento frontal	Coste parcial	nº	Precio tratamiento frontal	Coste parcial						
AGUILAR OESTE	1.1	80+850	82+500	1.650,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	1	51.750,00 €	51.750,00 €	Galería Vehicular 1	80+850	81+550	700	4.863,81 €	3.404.668,26 €
	1.2	83+085	83+435	350,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1.3	83+885	84+025	140,00	25	2	50	6.050,00 €	302.500,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1.4	84+245	84+325	80,00	25	2	50	6.050,00 €	302.500,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1.5	84+595	84+875	280,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1.6	86+130	86+710	580,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	1.7	88+250	89+870	1.620,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	1	51.750,00 €	51.750,00 €	Galería Vehicular 2	89+200	0+600	600	4.863,81 €	2.918.287,08 €

ALTERNATIVA	TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	Falso túnel					Emboquille			Emboquilles galerías			Galerías evacuación	PK Inicio	PK Fin	Longitud (m)	Coste m/l	Coste parcial
					Longitud	nº	Longitud total	Precio m/l	Coste parcial	nº	Precio Tratamiento frontal	Coste parcial	nº	Precio tratamiento frontal	Coste parcial						
AGUILAR ESTE	3.1	79+915	81+845	1.930,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	2	51.750,00 €	103.500,00 €	Galería Vehicular 1	79+915	80+500	585	4.863,81 €	2.845.329,90 €
																Galería Vehicular 2	81+250	81+845	595	4.863,81 €	2.893.968,02 €
	3.2	82+749	82+839	90,00	25	2	50	6.050,00 €	302.500,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	3.3	83+545	83+995	450,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	3.4	84+435	84+795	360,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	--	--	--	--	--	--	--	--	--
	3.5 (= 1.6)	86+130	86+705	575,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	--	--	--	--	--	--	--	--	--

	3.6 (= 1.7)	88+245	89+865	1.620,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	1	51.750,00 €	51.750,00 €	Galería Vehicular 3	89+200	0+600	600	4.864	2.918.287 €

ALTERNATIVA	TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	Falso túnel					Emboquille			Emboquilles galerías			Galerías evacuación	PK Inicio	PK Fin	Longitud (m)	Coste m/l	Coste parcial
					Longitud	nº	Longitud total	Precio m/l	Coste parcial	nº	Precio Tratamiento frontal	Coste parcial	nº	Precio tratamiento frontal	Coste parcial						
MAVE OESTE	2.1	80+830	82+520	1.690,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	1	51.750,00 €	51.750,00 €	Galería Vehicular 1	80+830	81+550	720	4.863,81 €	3.501.944,49 €
	2.2	83+000	83+900	900,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	--	--	--	--	--	--	--	--	--

ALTERNATIVA	TUNEL	PK INICIO	PK FIN	LONG. TOTAL (m)	Falso túnel					Emboquille			Emboquilles galerías			Galerías evacuación	PK Inicio	PK Fin	Longitud (m)	Coste m/l	Coste parcial
					Longitud	nº	Longitud total	Precio m/l	Coste parcial	nº	Precio Tratamiento frontal	Coste parcial	nº	Precio tratamiento frontal	Coste parcial						
MAVE ESTE	4.1	79+915	81+810	1.895,00	50	2	100	6.050,00 €	605.000,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	2	51.750,00 €	103.500,00 €	Galería Vehicular 1	79+915	80+500	585	4.863,81 €	2.845.329,90 €
																Galería Vehicular 2	81+250	81+810	560	4.863,81 €	2.723.734,60 €
	4.2	82+740	82+970	230,00	25	2	50	6.050,00 €	302.500,00 €	2	103.500,00 €	207.000,00 €	--	--	--	--	--	--	--	--	--

Costes de galerías, falsos túneles y emboquilles

El coste total de ejecución de las galerías de evacuación, falsos túneles y emboquilles se resume en la siguiente tabla.

		Emboquilles: túnel ppal. + galerías	FT	Galería	Coste total
AGUILAR OESTE	1.1	258.750 €	605.000 €	3.404.668,26 €	4.268.418 €
	1.2	207.000 €	605.000 €	--	812.000 €
	1.3	207.000 €	302.500 €	--	509.500 €
	1.4	207.000 €	302.500 €	--	509.500 €
	1.5	207.000 €	605.000 €	--	812.000 €
	1.6	207.000 €	605.000 €	--	812.000 €
	1.7	258.750 €	605.000 €	2.918.287,08 €	3.782.037 €
					11.505.455 €

		Emboquilles: túnel ppal. + galerías	FT	Galería	Coste total
MAVE OESTE	2.1	258.750 €	605.000 €	3.501.944,49 €	4.365.694 €
	2.2	207.000 €	605.000 €	--	812.000 €
					5.177.694 €

		Emboquilles: túnel ppal. + galerías	FT	Galería	Coste total
AGUILAR ESTE	3.1	310.500 €	605.000 €	5.739.298 €	6.654.798 €
	3.2	207.000 €	302.500 €	--	509.500 €
	3.3	207.000 €	605.000 €	--	812.000 €
	3.4	207.000 €	605.000 €	--	812.000 €
	3.5	207.000 €	605.000 €	--	812.000 €
	3.6	258.750 €	605.000 €	2.918.287,08 €	3.782.037 €
					13.382.335 €

		Emboquilles: túnel ppal. + galerías	FT	Galería	Coste total
MAVE ESTE	2.1	310.500 €	605.000 €	5.569.064,50 €	6.484.565 €
	2.2	207.000 €	302.500 €	--	509.500 €
					6.994.065 €

Resumen de costes de galerías, falsos túneles y emboquilles

12.2. COMPARATIVA ENTRE ALTERNATIVAS

Los costes totales de todas las alternativas se pueden observar en la siguiente tabla resumen:

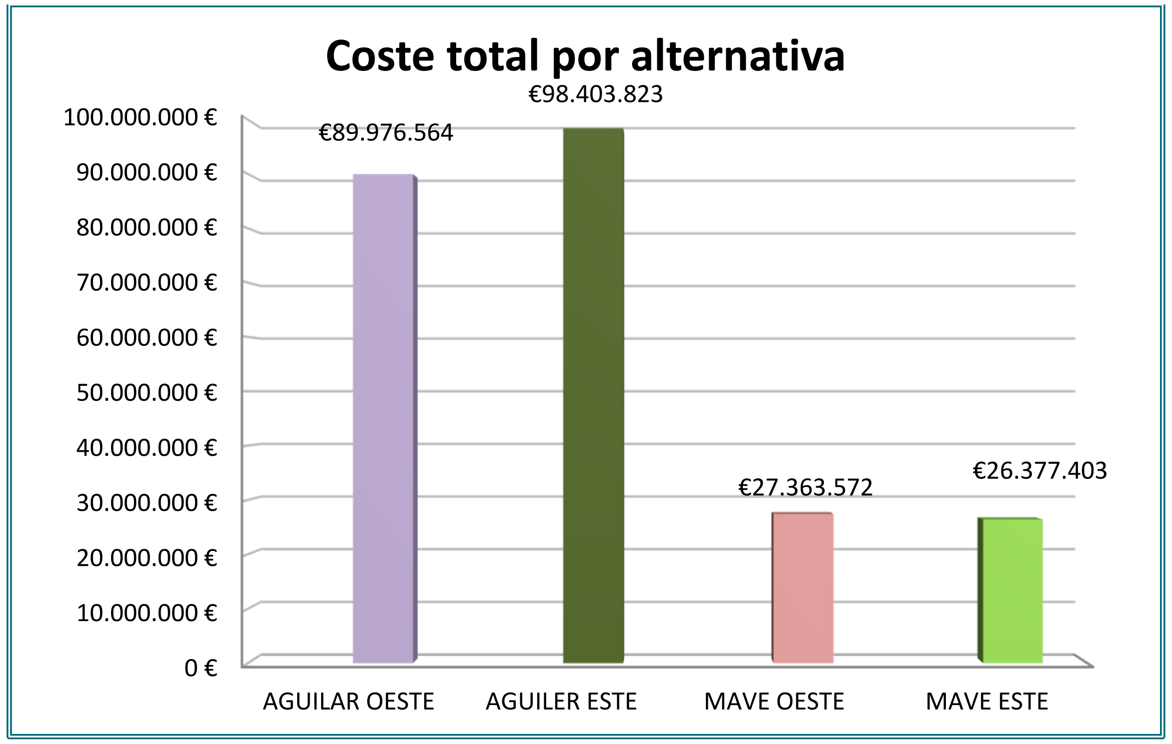
		Excavación + Sostenimiento	Emboquilles: túnel ppal. + galerías	FT	Galería	Coste total
AGUILAR OESTE	1.1	24.303.996,42 €	258.750 €	605.000 €	3.404.668,26 €	28.572.414,68 €
	1.2	4.624.515 €	207.000 €	605.000 €	--	5.436.515,05 €
	1.3	1.758.989 €	207.000 €	302.500 €	--	2.268.488,72 €
	1.4	1.005.136 €	207.000 €	302.500 €	--	1.514.636,41 €
	1.5	3.705.163 €	207.000 €	605.000 €	--	4.517.162,74 €
	1.6	17.357.808 €	207.000 €	605.000 €	--	18.169.807,79 €
	1.7	25.715.501 €	258.750 €	605.000 €	2.918.287,08 €	29.497.538,38 €
						89.976.563,76 €

		Excavación + Sostenimiento	Emboquilles: túnel ppal. + galerías	FT	Galería	Coste total
MAVE OESTE	2.1	13.859.514 €	258.750 €	605.000 €	3.501.944,49 €	18.225.208 €
	2.2	8.326.363 €	207.000 €	605.000 €	--	9.138.363 €
						27.363.572 €

		Excavación + Sostenimiento	Emboquilles: túnel ppal. + galerías	FT	Galería	Coste total
AGUILAR ESTE	3.1	30.454.988 €	310.500 €	605.000 €	5.739.298 €	37.109.786 €
	3.2	817.450 €	207.000 €	302.500 €	--	1.326.950 €
	3.3	5.653.892 €	207.000 €	605.000 €	--	6.465.892 €
	3.4	5.178.262 €	207.000 €	605.000 €	--	5.990.262 €
	3.5	17.201.394 €	207.000 €	605.000 €	--	18.013.394 €
	3.6	25.715.501 €	258.750 €	605.000 €	2.918.287,08 €	29.497.538 €
						98.403.823 €

		Excavación + Sostenimiento	Emboquilles: túnel ppal. + galerías	FT	Galería	Coste total
MAVE ESTE	2.1	17.844.264 €	310.500 €	605.000 €	5.569.064,50 €	24.328.829 €
	2.2	1.539.074 €	207.000 €	302.500 €	--	2.048.574 €
						26.377.403 €

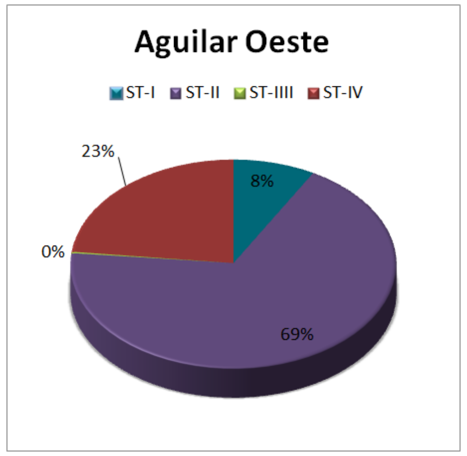
	m totales túneles	Coste total túneles	€/ml
AGUILAR OESTE	4.700,00	89.976.564 €	19.143,95 €
MAVE OESTE	2.590,00	27.363.572 €	10.565,09 €
AGUILAR ESTE	5.025,00	98.403.823 €	19.582,85 €
MAVE ESTE	2.125,00	26.377.403 €	12.412,90 €

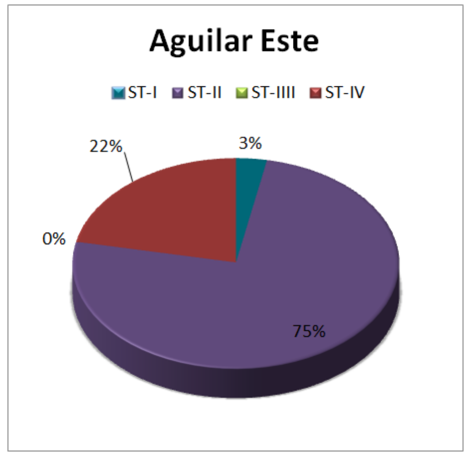


A la vista de los resultados obtenidos, es obvio que las alternativas de Aguilar muestren un coste bastante más elevado que las alternativas de Mave por el mayor número de túneles que presentan. Es lógico entonces que las comparativas se realicen entre las alternativas con el mismo final de trazado.

En el caso de las alternativas de Aguilar Este y Oeste los costes de ejecución de los túneles son muy parecidos. Se incrementa el presupuesto en la alternativa Este debido a que son más metros de túnel a ejecutar así como de galerías, ya que en el túnel 3.1 se ha previsto la ejecución de 2 galerías de conexión en lugar de una que presenta el túnel 1.1 de Aguilar Oeste.

También se puede apreciar como el porcentaje de sostenimientos a emplear en ambos casos es muy parecido.





En el caso de las alternativas de Mave se presenta la misma situación, mostrándose en ambos casos costes finales muy parecidos.

La longitud total de túnel a ejecutar en la alternativa de Mave Oeste es mayor, con lo cual su coste es el más elevado. Sin embargo esa diferencia es mínima con respecto a Mave Este. Esto se debe a que, aunque tiene menos longitud de túnel a ejecutar, el porcentaje de sostenimiento tipo II es más elevado (y más caro), y además el túnel 4.1 presenta dos galerías de evacuación en lugar de la única que se ha previsto ejecutar en el túnel 2.1 de Mave Oeste.

	ST-I	ST-II	ST-IIII	ST-IV
Mave Oeste	5.868.557 €	14.433.194 €	0	927.224 €
Mave Este	2.288.536 €	16.631.190 €	0	463.612 €

